



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica**

**Estudio geológico-geofísico para la determinación de  
cuerpos intrusivos en la plataforma central del Perú**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo**

**AUTOR**

**Giobana Rossio GARCÍA JUÁREZ**

**ASESOR**

**Darwin ROMERO FERNÁNDEZ**

**Lima, Perú**

**2016**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

García, G. (2016). *Estudio geológico-geofísico para la determinación de cuerpos intrusivos en la plataforma central del Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---



# UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO

104  
112

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, el día Martes 26 del mes de Abril del año 2016, siendo las 04:00 p.m., en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Mg. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN

(Presidente de Jurado)

Mg. CARLOS DEL VALLE JURADO

(Miembro de Jurado)

Ing. JAIME GILBERTO ZEGARRA NAVARRO

(Miembro de Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de la Tesis de Doña **GIOBANA ROSSIO GARCÍA JUÁREZ**, Bachiller en Ingeniería Geológica quien sustentará la Tesis titulada: «ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOFÍSICO PARA LA DETERMINACIÓN DE CUERPOS INTRUSIVOS EN LA PLATAFORMA CENTRAL DEL PERÚ», para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Geólogo.

Los miembros del Jurado, escuchada la colación respectiva, plantearon al graduando las observaciones pertinentes, que fueron absueltas a:

SATISFACCIÓN DEL JURADO

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DIECIOCHO (48)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado examinador, el Presidente del Jurado, recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Geólogo a Doña **GIOBANA ROSSIO GARCÍA JUÁREZ**.

Siendo las 18:00 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Ciudad Universitaria, 26 de Abril del 2016

Mg. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN  
PRESIDENTE DE JURADO

Mg. CARLOS DEL VALLE JURADO  
MIEMBRO DE JURADO

Ing. JAIME GILBERTO ZEGARRA NAVARRO  
MIEMBRO DE JURADO





**Dedico este trabajo a quien ha sido mi guía y compañero, Dios que me ha dado todo, una gran familia de padres maravillosos ellos son el motor de todas las cosas que hago, a mis hermanos que son mi ejemplo de profesionales y personas. A mis sobrinos que son mi gran adoración.**



## INDICE

1. CAPÍTULO I GENERALIDADES .....	11
1.1 Introducción .....	11
1.2. Objetivos .....	13
1.3. Metodología .....	13
1.4. Antecedentes y alcances de trabajos previos.....	16
2. CAPITULO II MARCO GEOLOGICO .....	19
2.1. Introducción .....	19
2.2 Cuenca Sechura .....	21
2.3 CUENCA SALAVERRY .....	23
2.4 Cuenca Trujillo.....	23
2.5 CUENCA LIMA .....	24
2.6 CUENCA PISCO .....	26
2.7 GEOMORFOLOGÍA .....	28
2.8 Estratigrafía.....	29
2.8.1 Precámbrico.....	31
2.8.2 Paleozoico .....	31
2.8.3 Mesozoico .....	34
2.8.4 Cenozoico.....	35
2.9 Magmatismo .....	36
2.9.1 Magmatismo Proterozoico .....	36
2.9.2 Magmatismo paleozoico .....	39
2.9.3 Plutonismo mesozoico-cenozoico.....	42
3 CAPITULO III MARCO GEOFISICO .....	45
3.1 Instrumentación Y Adquisición .....	45
3.1.1 Instrumentación .....	45
3.2 Fundamentos De La Gravimetría .....	47
3.2.1 Anomalía Gravimétrica.....	49



3.2.2	Efecto de la Densidad en la respuesta gravimétrica.....	53
3.2.3	Efecto de la profundidad .....	54
3.2.4	Efecto del Tamano .....	54
3.2.5	Interpretación De Las Anomalías Gravimétricas.....	55
3.2.6	Anomalía Regional y Residual .....	56
3.2.7	Determinación de la profundidad. ....	57
3.3	Fundamentos De La Magnetometría .....	58
3.3.1	Magnetismo de rocas y minerales.....	59
3.3.2	Interpretación De Las Anomalías Magnéticas.....	60
4	CAPITULO IV ANALISIS E INTERPRETACION .....	63
4.1	Introducción .....	63
4.2	Interpretación de los mapas de anomalías de Bouguer anomalías magneticas .....	63
4.2.1	Mapas de Anomalías Gravimétricas .....	64
4.2.2	Mapas De Anomalías Magnéticas .....	65
4.3	Secuencia Del Procesamiento .....	67
4.3.1	Separación de valores regionales y residuales.....	67
4.4	Correlación De La Geología Con la Magnetometría y Gravimetría.....	69
4.4.1	Aspectos estructurales según las imágenes de campo potencial.....	69
4.4.2	Interpretación y Localización de Fallas .....	69
4.4.3	Determinación de ejes Principales de posibles intrusivos.....	69
4.4.4	Metodología Para la detección de Cuerpos intrusivos .....	71
4.4.5	Diferencia entre las anomalías magnéticas y gravimétricas en la interpretación .....	74
4.4.6	Determinación de Basamento según Anomalías .....	76
4.5	Determinación de anomalías y zonas mayores.....	78
4.5.1	Zona 1 Illescas –Punta Cherrepe .....	80
4.5.2	Zona 2: Pacasmayo – Tortuga .....	85
4.5.3	Zona 3: Puerto Casma –Lurín.....	92
4.5.4	Zona 4 : Pucusana- Paracas .....	98
4.6	Correlación de edades cronológicas para los intrusivos .....	102
5	CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	105
6	BIBLIOGRAFIA .....	107



## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I GENERALIDADES

Figura 1.1	Ubicación de área del Proyecto	12
Figura 1.2	a) Muestreo en superficie para determinar susceptibilidad Magnética, b) Interpretación de anomalías magnéticas y gravimétricas, interpretación de Líneas Sísmicas. c) Información de pozos exploratorios en el área	14
Figura 1.3	Subdivisión de Zonas según resultados obtenidos y rasgos geológicos estudiados	15
Figura 1.4	Trabajos previos en el área de estudio.	18

### CAPITULO II MARCO GEOLOGICO

Figura 2.1	Cuencas sedimentarias del Perú	20
Figura 2.2	Geología de la cuenca Sechura y su correlación con afloramientos en la costa, Gonzales 2011	22
Figura 2.3	Columna estratigráfica generalizada Cuenca Salaverry, Savia Perú 2011	25
Figura 2.4	Columna estratigráfica generalizada Cuenca Lima, Savia Perú 2011	26
Figura 2.5	Columna estratigráfica generalizada Cuenca Pisco, Savia Perú 2011	27
Figura 2.6	Corte transversal mostrando las características morfoestructurales (Macharé et al, 1986)	29
Figura 2.7	Mapa Batimétrico de La plataforma central Del Perú	30
Figura 2.8	Linea sísmicas 96-105 Pozo Ballena 1X	32
Figura 2.9	Linea sísmicas C-2030 Pozo Delfín 1X	32
Figura 2.10	Mapa geologico generalizado según composicion química de los intrusivos	37
Figura 2.11	Eventos magmaticos en el Perú- Modificado de A. Sánchez 1994	39
Figura 2.12	El basamento de los Andes Centrales: Arequipa, Víctor A. Ramos	40
Figura 2.13	Esquema estructural del Norte del Perú y sur de Ecuador. Distribución de granitoides Triásicos, J.Sanchez 2008	41



Figura 2.14	El Batolito de la costa tiene una edad entre los 90 – 70 ma y 70 – 60 ma (Romero, 2007).	43
Figura 2.15	Distribución de intrusivos en la costa cronológicamente. Fuente: INGEMMET-SAVIA PERU	44

### **CAPITULO III MARCO GEOFISICO**

Figura 3.1	Esquema del barco de Adquisición del proyecto Rybiana 1993 M/V Digicon Explorer	46
Figura 3.2	Aproximación de un cuerpo tridimensional por media su sección transversal, la cual, a su vez, está aproximada por un polígono. El cálculo de la anomalía se basa en la integral de superficie del polígono que representa a la sección, con la adición de algún factor referente a la extensión de la dimensión "no-considerada".	49
Figura 3.3	Densidad Promedio de las rocas (Tomado de Telford et al., 1990; en Reynolds, 1998)	51
Figura 3.4	Esquema de Capas de diferente densidad y respuesta en anomalía gravimétrica. Según la profundidad.	52
Figura 3.5	Efecto de la topografía en la respuesta gravimétrica.	53
Figura 3.6	Efecto de la profundidad en la respuesta gravimétrico.	54
Figura 3.7	Esquema del Efecto del Tamano según animalias gravimetricas.	54
Figura 3.8	Anomalías Gravimétricas Regionales y Anomalías Gravimétricas Residual.	56
Figura 3.9	Esquema de las residuales gravimétricas según profundidad y distancia.	57
Figura 3.10	Cálculo de la profundidad, (a) método del ancho medio.	57
Figura 3.11	Comparación de líneas de tendencia en una anomalía gravimétrica y su respectiva residual.	58
Figura 3.12	Susceptibilidad magnética según tipo de roca.	59
Figura 3.13	Relación del campo magnético observado (a), con la transformación al polo (b), y el campo pseudo gravimétrico del cuerpo (c).	60
Figura 3.14	Diagrama esquemático de la tierra y su relación con la Gravimetría y Magnetometría.	61
Figura 3.15	Relación de anomalías magnéticas y gravimétricas, Philip – 2002	62

### **CAPITULO IV ANALISIS E INTERPRETACION**

Figura 4.1	Mapa de muestreo de susceptibilidad Magnética para puntos de control	65
------------	--	----



Figura 4.2	Mapa de Anomalías Gravimétricas de Bouguer, primera derivada vertical.	66
Figura 4.3	Mapa de Anomalías Magnetométricas RTP-Primera derivada Vertical	68
Figura 4.4	RTP TILT Derivative, interpretación de los principales lineamientos y fallas en el área	70
Figura 4.5	Esquema de anomalías gravimétricas y magnetometrías positivas según terreno	71
Figura 4.6	Distribución de principales cuerpos intrusivos cerca a la zona de estudio	73
Figura 4.7	Respuesta gravimétrica de los principales cuerpos intrusivos cercanos a la zona de estudio	74
Figura 4.8	Línea 93-41, se diferencia el Outer shale high (OSH) y un posible intrusivo (P.I) del procesamiento de los datos gravimétricos y magnetométricos se observa campos potenciales magnéticos negativos con respecto a la zona de Posible intrusivo que muestra claramente anomalías positivas tanto gravimétricas como magnéticas. Que además se corroboran con la sísmica de reflexión.	75
Figura 4.9	Las líneas 93-41, 93-44,93-45,93-47. Muestran claramente las respuestas gravimétricas para el OSH y el USR el cual se ha ligeramente modificado según el reprocesamiento de los datos utilizados	76
Figura 4.10	Resultado del reprocesamiento se obtiene una distribución del OSH y el USR que se corrobora con lo definido por Thornburg, T., Kulm, L.D., en 1981	77
Figura 4.11	División de la zona de estudio en cuatro zonas mayores.	79
Figura 4.12	Zona 1 desde Illesas hasta Punta Cherrepe frente Lambayeque Chiclayo y el sur del departamento de Piura.	80
Figura 4.13	Imágenes de la línea sísmica 437.0, , respuesta gravimétrica y rípos recolectados durante la perforación Pozo San Miguel 1x	81
Figura 4.14	Modelo 2D del intrusivo encontrado en el Pozo San Miguel 1x con valores aproximados de densidad.	82
Figura 4.15	Magnetometría RTP – Primera derivada Vertical.	83
Figura 4.16	Anomalías de Bouguer- Primera derivada Vertical.	83
Figura 4.17	Análisis Cuantitativo de Posibles cuerpos intrusivos.	84
Figura 4.18	Posibles cuerpos intrusivos en la zona 1	84



Figura 4.19	Zona 2 Área situada frente a las costas de los departamentos de La Libertad y Ancash.	85
Figura 4.20	Línea 93-46 y la gravimetría del área.	86
Figura 4.21	Cretácico en el Perú central.	87
Figura 4.22	RTP Primera derivada Vertical de la zona 2	88
Figura 4.23	Bouguer Primera Derivada Vertical de la Zona 2	88
Figura 4.24	Análisis de Anomalías del Pozo exploratorio Morsa 1X	89
Figura 4.25	Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetometricas, Zonas con posibles cuerpos intrusivos.	90
Figura 4.26	Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetometricas, Zonas s con posibles cuerpos intrusivos	90
Figura 4.27	Calculo de profundidad de los posibles intrusivos encontrados según la interpretación sísmica de la línea 93-45	91
Figura 4.28	Ubicación de la Zona 3- Puerto Casma hasta Lurin	92
Figura 4.29	Ubicación de las Islas Mazorca y Isla Pelado, La isla Mazorca compuesta de rocas de gabro diorita y el islote pelado donde se muestreo Dioritas principalmente.	93
Figura 4.30	Datación de la isla Loberas bajo el método de datación U-Pb sobre Zircones (Romero et.al 2013)	94
Figura 4.31	Análisis Magnetométrico (RTP) y Gravimétrico (FVD) del área de influencia de las Islas Mazorca y Pelado, realizado con el resultado de las líneas 93-68, 93-69	95
Figura 4.32	Mapa de anomalías de Bouguer (FVD) muestra dos aéreas importantes de anomalías frente a la costa de Huarmey y Huacho	96
Figura 4.33	Mapa de anomalías Magneticas presenta cuatro anomalias marcadas que siguen la direccion NE-SE	96
Figura 4.34	Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetometricas de la Zona 3	97
Figura 4.35	Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetometricas, Zona 3 con posibles cuerpos intrusivos	97
Figura 4.36	Ubicación de la Zona 4 desde Pucusana hasta Paracas	98
Figura 4.37	Mapa de anomalías de Bouguer (FVD) muestra dos aéreas importantes de	99



	anomalías	
Figura 4.38	Mapa de anomalías Magnéticas (RTP) muestra dos aéreas importantes de anomalías paralelas a la línea de la costa.	99
Figura 4.39	Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas de la Zona 4	100
Figura 4.40	Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, Zona 4 con posibles cuerpos intrusivos	100
Figura 4.41	Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, para las cuatro zonas de estudio y su comparación con los intrusivos en continente.	101
Figura 4.42	Esquema estructural del Norte del Perú y sur de Ecuador. Distribución de granitoides Triásicos, J.Sanchez 2008 y Posible distribución de los intrusivos Permo-triasicos en la zona norte Offshore	102
Figura 4.43	Esquema del Batolito de la costa tiene una edad entre los 90 – 70 ma y 70 – 60 ma (Romero, 2007) y Posible Distribución Mesozoico -Cenozoica de intrusivos en Offshore	103
Figura 4.44	Esquema del Basamento de los andes Centrales en el sur Victor A. Ramos, y Posible distribución Paleozoico (ordovícico) y mesozoico de intrusivos en Offshore	103
Figura 4.45	Distribución de intrusivos en el offshore central del Perú	104
Figura 4.46	Mapa concluyente del estudio realizado con la distribución de posibles intrusivos, cuencas, subcuencas y basamento cristalino del offshore central del Perú	106

## INDICE DE TABLAS Y ANEXOS

Tabla 1	Cuadro resumen de evidencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos	33
Tabla 2	Resultado de las dataciones U-Pb y Ar-Ar de la campaña de campo Savia 2011, Afloramientos Triásico y Cretácico	35
Tabla 3	Cuadro resumen de las correcciones Gravimétricas	46
Tabla 4	Densidad según tipo de roca	50
Tabla 5	Cuadro resumen de la secuencia de procesamiento	67
Tabla 6	Densidades del Batolito de la costa. M. A. Bussell & C. D. V. Wilson	72





---

Anexo 1	Enclosure 23- Lobos and Morsa Norte, Composite Logs	109
Anexo 2	Enclosure 24-Delfin, Ballena and Pisco, Composite Logs	111

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento a la empresa Savia Perú S.A. Por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de tesis, por proporcionarme el acceso a la información, la logística y todo lo necesario para su realización

Al Ing. Pedro Alarcón y el Ing. Kiko Valencia por la confianza depositada en mi persona para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Darwing Romero por su asesoría, dedicación, ayuda y amistad que contribuyeron de manera fundamental para el desenvolvimiento de la tesis.

A todo el personal de la compañía Savia Perú S.A. por el apoyo brindado en el tiempo en que se desarrollo la tesis.

A mi estimado asesor Msc. Javier Jacay Huarache por la asesoría, el apoyo y la motivación para el término de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por proporcionarme todas las facilidades para mi preparación profesional.

Finalmente agradezco a todas las personas que me brindaron su ayuda y confiaron en mí, principalmente mis padres Mauro y Juana por todo el apoyo, imposible de resumir en unas líneas.



## **1. CAPÍTULO I GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

La plataforma continental peruana se encuentra localizada a lo largo de la parte central oeste de América del sur. Esta limitado al oeste por la placa oceánica de Nazca y al este por la costa peruana. El área de estudio se encuentra limitada al norte por la península de Illescas situada en la región Piura y al sur por la península de Paracas en la región Ica ( $6^{\circ}$ - $11^{\circ}$  latitud sur), Figura 1.1

El presente estudio presenta el resultado de la interpretación de datos gravimétricos y magnetométricos y su integración con la geología de la costa. El survey abarco el área offshore que corresponde al ante arco peruano, con 59 líneas sísmicas y 8213.84 km de información gravimétrica y magnetométrica utilizada, extraída del proyecto Rybiana de 1993 la cual fue reprocesada por la compañía Savia Perú en el año 2011 con el fin de encontrar altos paleozoicos y cuerpos Intrusivos correspondientes a los lotes en mar que son de su responsabilidad exploratoria y prospectiva.

La finalidad de este trabajo es proveer una información de la ubicación extensión y profundidad de los posibles cuerpos intrusivos en el offshore peruano que sirvan como base de estudio para las posteriores campañas exploratorias ya sea con fines económicos o científicos.

La costa peruana según está dividida en tres zonas, definidas por sus distintas características en el litoral, estas son zona norte, zona centro y zona sur. De los tres segmentos, a grandes rasgos, la margen meridional tiene una tendencia perenne a la emersión, la margen central tiene una tendencia al hundimiento, esto se explica por la presencia de material más denso en su estructura cortical y la margen del noroeste, anómala y cuyo desarrollo estaría ligado a los fenómenos tectónicos del Golfo de Guayaquil (Macharé et al., Op cit.)

El desenvolvimiento de la tesis presentada se realizó en la parte central de la costa peruana según indica la figura 1.1

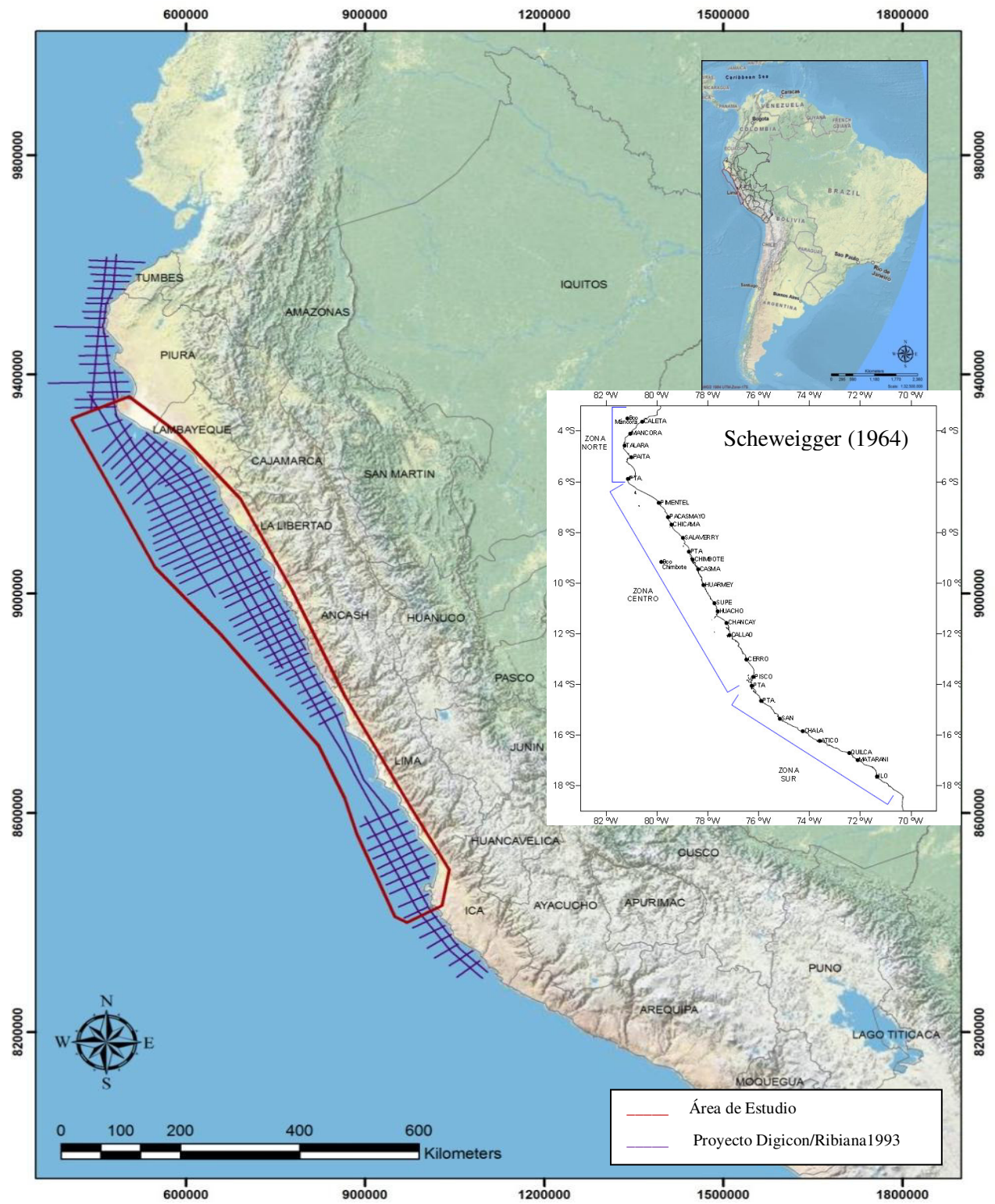




Figura 1.2, *Ubicación de área del Proyecto*

## 1.2 Objetivos

1. Determinar en base a información Gravimétrica y Magnetométrica la posible distribución y geometría de cuerpos intrusivos en la plataforma continental peruana frente a la costa entre Sechura y Pisco.
2. Asociar los cuerpos intrusivos identificados en offshore con los que afloran en costa y de esta manera Intentar definir la posible edad de estos.
3. Definir la distribución de los cuerpos intrusivos en 3D (en planta y profundidad), utilizando para ello modelos gravimétrico- magnetométrico.
4. Predecir la ubicación de cuerpos intrusivos, en los prospectos y leads de importancia económica, según la implicancia que tienen con respecto a estos, ya sea reduciendo el riesgo de perforación, proporcionar información para la programación de la adquisición Sísmica 2D y 3D. o tomarlos en cuenta como precedente para posteriores estudios de modelos de generación de hidrocarburos o posibles reservorios naturalmente fracturados

## 1.3 Metodología

La realización de este estudio comprende un análisis tanto geológico como geofísico de manera que se complementen y nos ayuden a dar un resultado homogéneo que explique la presencia de cuerpos intrusivos en la plataforma central del Perú.

- La primera etapa se realizó un estudio de la geología de la costa central del Perú tomando principal atención en la ocurrencia de rocas intrusivas describiendo su posición geográfica, composición según ácidos y básicos, estudio de susceptibilidad magnética extraído de estudios previos y muestreos en la costa y diferentes estudios regionales realizados por la compañía SAVIA PERU S.A
- La segunda etapa realizo un análisis cualitativo y cuantitativo de datos geofísicos es decir de los mapas de Anomalías de Bouguer, mapas Residuales de Gravimetría y los mapas Magnéticos Reducidos al Polo, Utilizando algoritmos matemáticos que nos ayuden a filtrar los datos según propiedades de la rocas entre ellas alta densidad y susceptibilidad magnética, que son propiedades singulares de las rocas plutónicas, Este análisis se complementa cuantitativamente con la interpretación de las líneas sísmicas del proyecto Digicon Geophysical Corp.y LCT, /Ribiana, del año 1993.



- La tercera etapa comprende la compilación según los datos obtenidos en la costa de los principales cuerpos intrusivos y las evidencias de cuerpos intrusivos en el offshore según los datos que se han obtenido en muestras extraídas de las islas, pozos perforados y posibles intrusivos que fueron delimitados bajo el método de análisis de propiedades de las rocas su respuesta gravimétrica y magnetométrica, Figura 1.2
- El análisis y la interpretación de los datos obtenidos se realizó de una forma más didáctica dividiendo el área en cuatro zonas de interés agrupadas según rasgos geológicos similares que llamaremos de Zona 1-2-3-4 que se extiende de Norte a sur en el orden mencionado Figura 1.2. Finalmente se procedió a redacción de la presente tesis así como la puesta a punto de los anexos: Mapas, diagramas, cuadros, etc

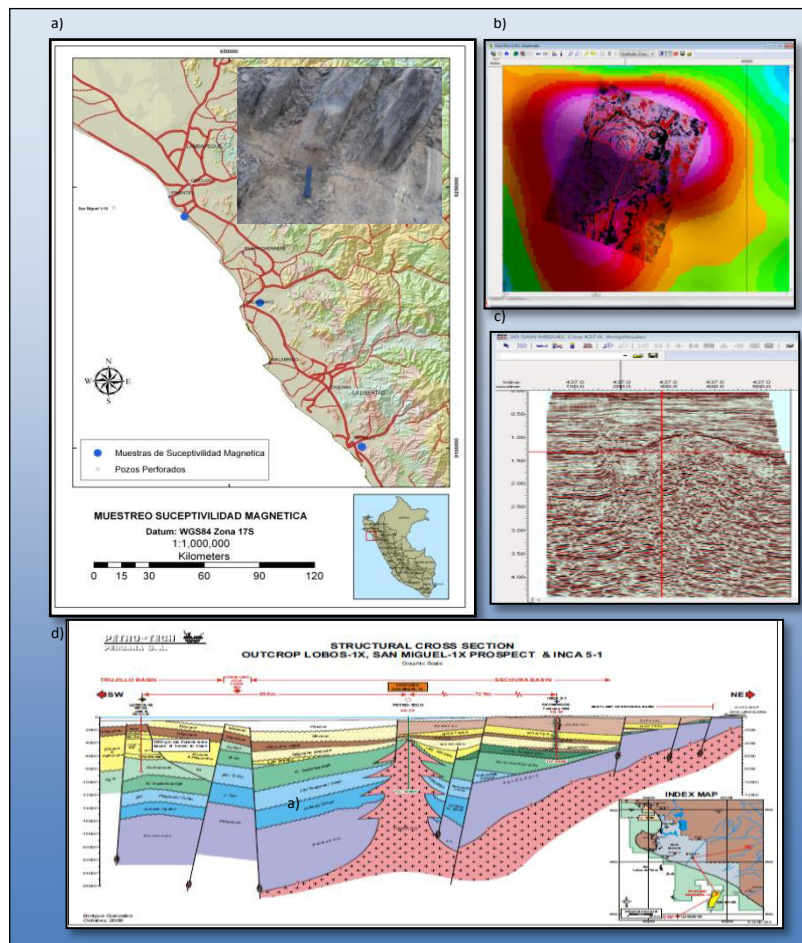


Figura 1.3, a) Muestreo en superficie para determinar susceptibilidad Magnética, b) Interpretación de anomalías magnéticas y gravimétricas, interpretación de Líneas Sísmicas. c) Información de pozos exploratorios en el área



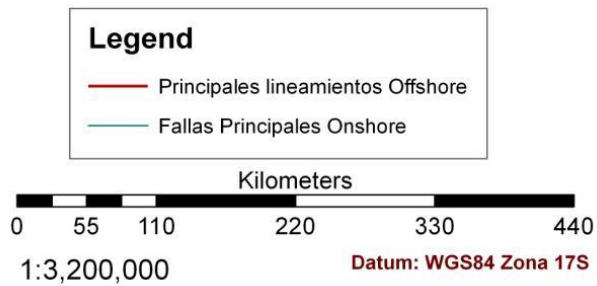
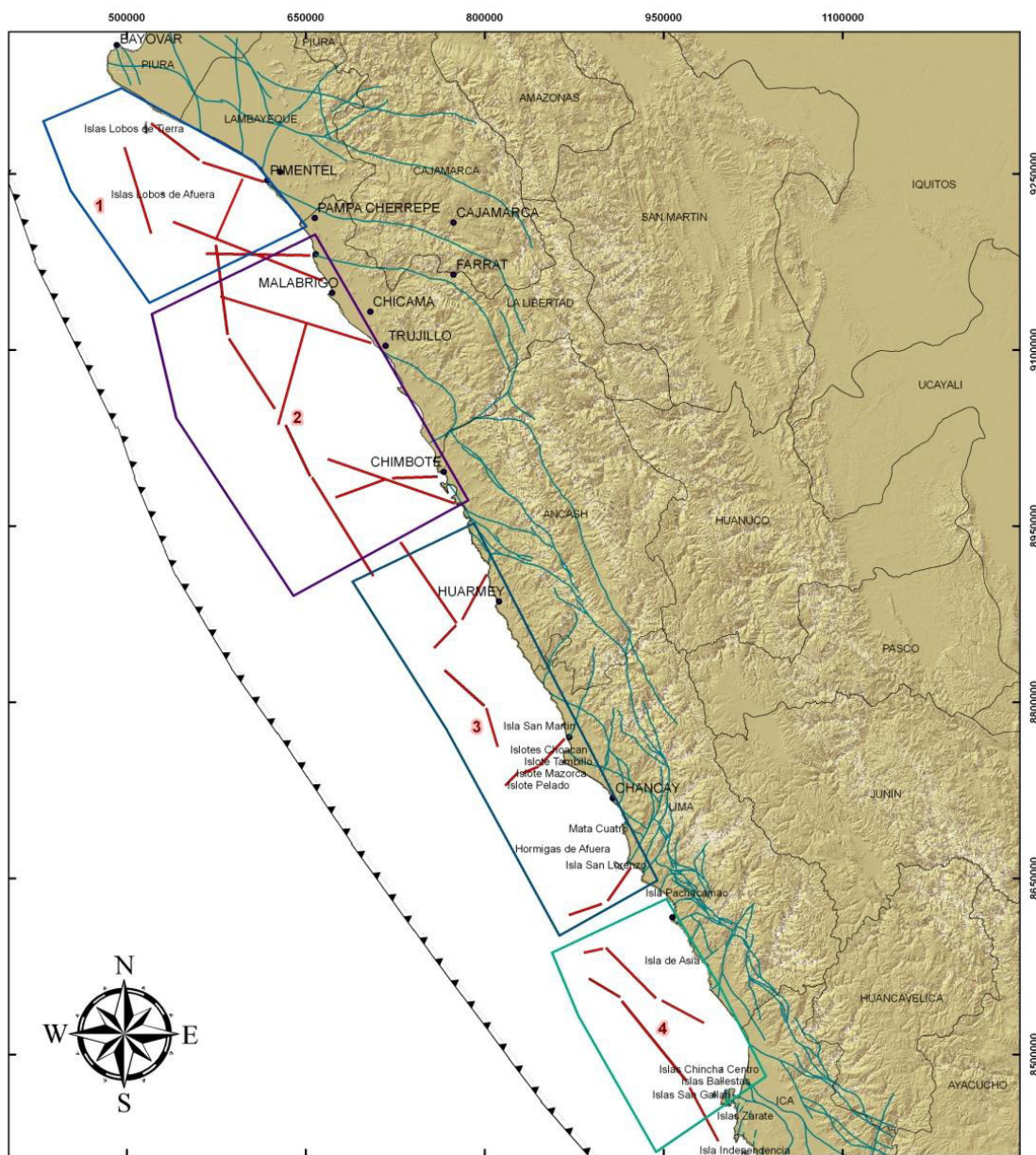


Figura 1.4, Subdivisión de Zonas según resultados obtenidos y rasgos geológicos estudiados



#### 1.4 Antecedentes y alcances de trabajos previos

En los últimos años se ha realizado una serie de estudios importantes en la plataforma peruana y la costa peruana con fines tanto científicos como prospectivos a continuación se describe las actividades de investigación en las cuencas marinas y estudios realizados en la costa central del Perú que sirvieron de base bibliográfica para la presente tesis, figura 1.4

Los primeros datos del ante arco al sur de talara se registraron en el año 1971 cuando se perfora los pozos de Ballena 8-X-1 y Delfín 20-X-1 por la compañía Oxidental del Perú en la cuenca Trujillo, ambos pozos perforaron el basamento alcanzando una profundidad de 3198 y 8743 metros respectivamente aportando importante información estratigráfica.

Un año después en 1972 el proyecto PLACA DE NAZCA recogió muestras de dragado, datos de gravimetría, magnetometría y sísmica en todo el margen continental peruano.

En 1973 PETROPERU auspicio un estudio sísmico SEISCOM-DELTA, que además incluían la toma de datos de gravimetría y magnetometría en un total de 9700 km de sísmica 2D en las cuencas Trujillo y Salaverry.

Años más tarde en 1982 la COMPAÑÍA GENERAL DE GEOFISICA (CGG) patrocino a PETROPERU para realizar un total de 3250 km de sísmica 2D que fue adquirida a lo largo de la cuenca Trujillo y Salaverry.

Thornburg y Kulm realizaron durante los años 1982 hasta- 1985 estudios en donde utilizaron datos batimétricos líneas sísmicas en las cuencas Sechura, Trujillo, Salaverry, Lima y el oeste de Pisco aportando principalmente la ubicación y caracterización de dos estructuras denominadas Upper Slope Ridge (USR) e el Outer Shelf High (OSH) dos cordilleras en fondo marino constituidas de basamento de roca cristalina. Figura 04

En el año 1986 el proyecto de perforación oceánica adquirió sísmica de reflexión y perfiles adicionales durante el proyecto de la PLACA DE NAZCA donde se realizaron diez perforaciones en el ante arco peruano.

En el año 1986, a bordo del buque *JOIDES Resolution* se realizó el *Leg 112* del Programa de Perforación en el Océano (*Ocean Drilling Program - ODP*) Figura 04 que basó su investigación en procesos geológicos-tectónicos, climatológicos y paleoceanográficos en el margen continental peruano. Este estudio proporcionó valiosa información sedimentológica, batimétrica y morfológica de grandes estructuras por debajo del suelo marino en varias zonas del margen continental utilizando diversos equipos sísmicos y acústicos de alta resolución (p. e., *Sonar SideScan SeaMARC II*) (Hussong *et al.*, 1990; en Suess y von Huene, 1990).



En 1993 se realizó un survey de sísmica y gravimetría 2D patrocinada por PERUPETRO y RIBIANA INC. De Houston fue conducido por Digicon Geophysical Corp. y LCT. El proyecto abarco desde el sur de la cuenca de Pisco hasta la frontera con el Ecuador al Norte con un total de 10.000 Kilometros.

Entre los años de 1996-2000 REPSOL exploración Perú operador del bloque Z-29 en la cuenca Trujillo adquirió 4.020 kilometros de sísmica 2D con el equipo de Digicon Geophysical Corp. y Austin Exploration INC. Adquiriendo 4.017 kilometros de datos gravimétricos y 4001 kilómetros de datos magnetométrico

En 1998 WESTERN GEOPHYSICAL adquirió sísmica 2D en 945 km, un año después se perforo dos pozos exploratorios Morsa 1X y Lobos 1 X. De 1281 metros y 2469 metros respectivamente, el pozo exploratorio de Morsa 1X llego a perforar las rocas metamórficas del basamento y el pozo de Lobos 1X que perforo rocas del campaniano ambos aportaron importante información estratigráfica, geoquímica en la zona Norte.

En el año 2000, el Proyecto *GEOPECO* realizó el crucero *RV SONNE* (SO-146) en el margen continental peruano obteniéndose importante información sísmica, batimétrica y morfológica con diversos equipos, siendo el de uso principal el ecosonda *Multibeam HYDROSWEEP DS-3*. Esta investigación evaluó los procesos de subducción, tectonismo e hidratos de gas ocurridos en dos zonas; en el norte del margen peruano principalmente en la Cuenca Yaquina; y en el centro del margen peruano enfocado en la Cuenca Lima y el proceso de subducción de la Dorsal Submarina de Nazca, zona de colisión con el margen continental, (Kukowski y Bialas, 2000).

En el año 2009 la compañía Petrotech perfora el pozo San Miguel 1X frente a las costas de Chiclayo en la cuenca Sechura, esta perforación alcanzo los más de 5000 pies de profundidad y aporato datos de litología ígnea Diorita, estratigrafía y existencia de petróleo pesado (Gonzales, 2011)

En el año 2012 la compañía Savia Perú después de realizar una intensa campaña de campo y muestreo de todas las islas existentes en la plataforma define Una investigación realizada en las rocas del basamento del macizo Maraón en el norte de Perú, afirmó que al oeste de esta zona era una región libre de sótano en el Paleozoico, donde el arco y ante arco eran desarrollado en una corteza cuasi-oceánica máfica. Sin embargo, estudios petrográficos y nuevas edades preliminares indicar, por primera vez, la naturaleza y la edad de este sótano siálico. Romero 2013



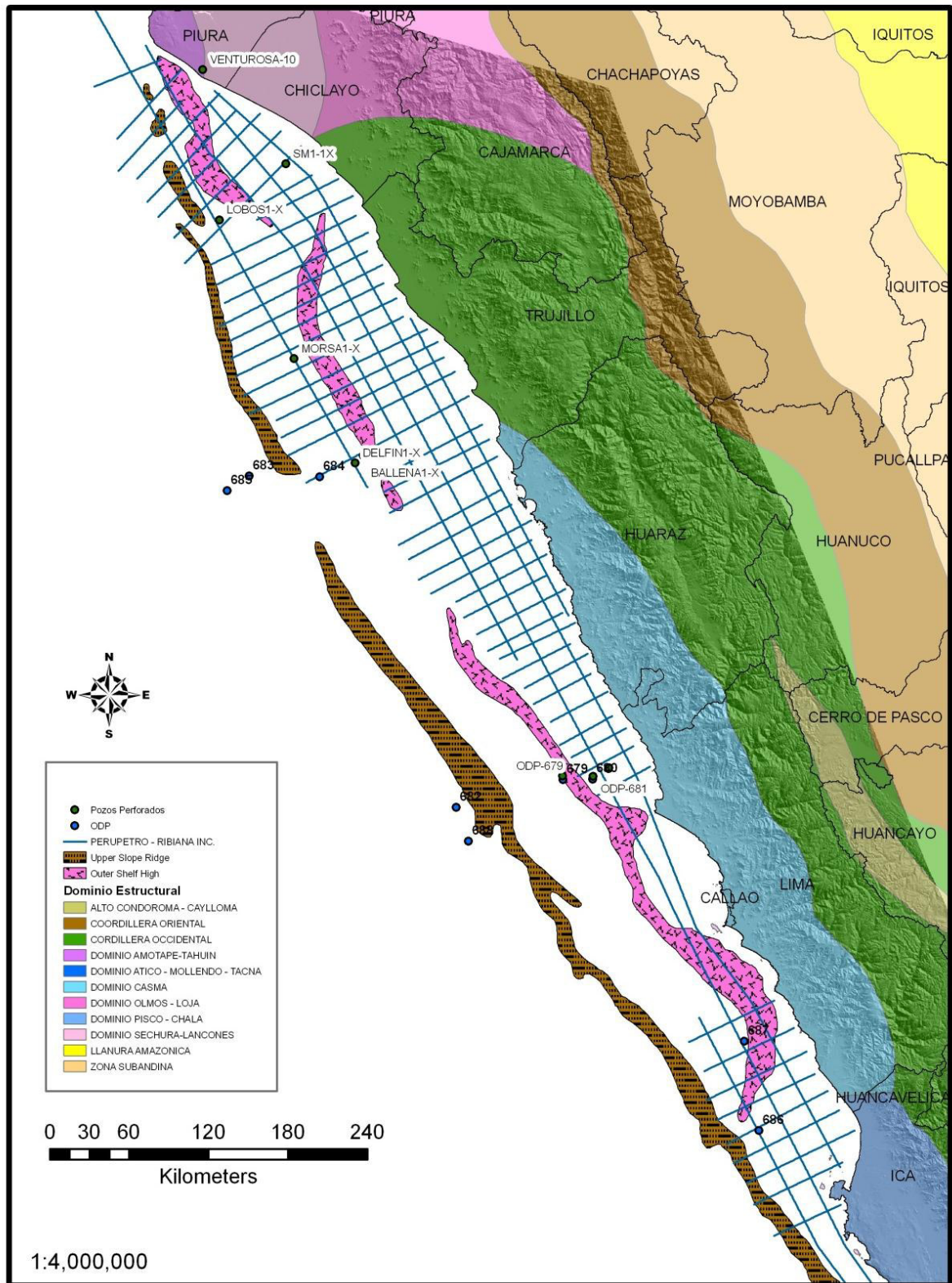


Figura 1.5, Trabajos previos en el área de estudio.



## **2. CAPITULO II MARCO GEOLOGICO**

### **2.1.Introducción**

El presente capítulo contiene los aspectos geológicos de mayor importancia. en la plataforma continental del Perú influenciada fuertemente por la colisión de la placa de Nazca con la placa Sudamericana la cual conlleva a importantes eventos geológicos los cuales han formado cuencas sedimentarias delimitadas por cordilleras como Upper Slope Ridge y el outer Shelf High según Thornburg and Kulm (1981) conformando las cuencas sedimentarias importantes como la cuenca de Salaverry , Trujillo, Lima, Pisco. Figura 2.1, los cuales serán descritos geológicamente con más detalle en este capítulo, estratigráficamente la roca que forman la Plataforma Continental tienen similitud con los afloramientos rocosos adyacentes al continente. Entre Chiclayo y Chancay, comprenden rocas sedimentarias de edad terciaria de la Cuenca de Salaverry y rocas volcánico-sedimentarias del Cretácico inferior correspondientes al Grupo Casma. Frente a Lima y Callao, comprende rocas sedimentarias del Grupo Morro Solar del Cretácico inferior que subyacen a los depósitos del cono aluvial del río Rímac, de 150 m. de espesor, que se extienden bajo el mar hasta aproximadamente la Isla San Lorenzo. En el Sur, en las cuencas terciarias de Pisco, comprenden rocas sedimentarias que alternan capas de rocas duras (caliza, pizarra o areniscas) intercaladas con otras más blandas (margas y arcillas).

Muy pocos pozos han sido perforados en esta región. La cuenca Trujillo ha sido perforada por sólo cuatro pozos de exploración, mientras que la parte de la costa de Sechura, Salaverry y Pisco aún no han sido perforadas. Filtraciones de petróleo y modelado de maduración sugieren la presencia de rocas maduras generadoras del Cretácico en las tres cuencas y principios de rocas generadoras maduras del Eoceno en la Cuenca Trujillo. Anticlinales y fallas extendidas son en estas cuencas resultado de múltiples periodos Cenozoico de extensión y compresión. Areniscas del Cretácico en la cuenca Trujillo y Salaverry, carbonatos Eoceno probables en la cuenca Salaverry y Pisco también puede ser prospectiva. Estratos paleozoicos fracturados son un objetivo en la cuenca Sechura y quizás en las otras cuencas.



20



## 2.2 Cuenca Sechura

La cuenca Sechura es sobre todo una cuenca terrestre situada al sureste de la Cuenca Talara. Algunos estudios han sugerido que el Sechura y Salaverry Cuencas son subcuencas de una gran cuenca (Zuninga et. al. 1998).

La cuenca está llena de 3.000-5.000 metros de sedimentos, y los rangos de edad de Paleozoico hasta terciario superior. Eoceno Superior, Oligoceno y clástico más jóvenes y algunos carbonatos se superponen sedimentos del Cretácico. Estas rocas, a su vez se superponen Jurásico de rocas volcánicas del Triásico y Sedimentos del Paleozoico. Los más difundidos son rocas reservorios clásticos del Terciario superior.

Descubrimientos comerciales recientes en las cuencas han sido el gas seco de las arenas del Eoceno superior por Savia en la cuenca Sechura offshore.

La secuencia geológica en el continente y en el mar se compone de formación clástica de arcillas y areniscas del Mioceno Zapayal, Montera y Oligoceno Heath y Máncora, que cubre en discordancia con el Mesozoico cuarcita, calizas y areniscas del Cretácico medio para bajar las formaciones, Pariatambo, Chulec, Inca, Gollarisquizga y Tinajones; así como el Triásico-Jurásico Oyotun, La Leche y Zaña volcánica. Figura 2.2. La columna entera descansa sobre un basamento Paleozoico que es penetrado por un Pérmico de dioritas intrusivas, (Gonzales, 2011)

Tectónicamente la Cuenca Sechura es una cuenca extensional con grandes pliegues y fallas normales suaves y de alto ángulo, influenciado por una tectónica activa los registros de intrusión paleozoica son de edad paleozoica (259.5 Ma) los cuales no llegan a afectar a las rocas de mesozoico, originando solo lacolitos, sills, etc







### 2.3 Cuenca Salaverry

Esta cuenca está ubicada geográficamente en la plataforma continental, costa afuera del Perú central, frente al departamento de La Libertad; se extiende desde la ciudad de Chimbote al Sur hasta la localidad de Punta Cherrepe al Norte (Figura 05). Abarca pequeñas áreas del Outer Shelf Hight (Cordillera de la Costa), así como el extremo sur de la cuenca Sechura. El límite oriental corresponde al litoral peruano, entre Chimbote y Punta Cherrepe; Las ciudades y centros poblados más importantes del área de donde se puede acceder al lote son Chimbote, Puerto Santa, Salaverry, Trujillo, Malabrigo (Puerto Chicama), Puémape y Punta Chérrepe.

La cuenca Salaverry definida por Thornburg T & Kulm L. D. (1981), es una cuenca de antearco Cenozoica; es más joven y menos extensa a la propuesta; se originó posiblemente en el Mioceno superior ( $\approx 7-5$  Ma). Se ubica en la plataforma de la margen continental activa de Sudamérica, donde se produce la subducción de la placa de Nazca bajo la placa sudamericana; frente a la deflexión de Cajamarca y al arco volcánico Oligo miocénico. Se caracteriza por ser una cuenca alargada de dirección NO-SE. Está limitada al suroeste con la cuenca Trujillo por medio del alto de la cordillera de la costa (Outer Shelf Hight); hacia el noreste está limitada con la cuenca Sechura, por el alto Malabrigo-Pacasmayo-Purulen; hacia el sureste se encuentra limitada con la sub cuenca Huaral por medio del alto Huacho – Salinas – Pelado - Hormigas; finalmente hacia el noreste está limitada por el continente (onshore).

El relleno sedimentario de la cuenca Salaverry, se desarrolló principalmente sobre un "basamento" de edad Cretácico; sin embargo en algunas partes y principalmente en el borde suroeste, el basamento está representado por rocas posiblemente Paleozoicas e intrusivas. El "basamento" compuesto por rocas Cretácicas corresponde en si al relleno sedimentario de otra cuenca de edad Jurásico-Cretácico, la cual tenía un basamento posiblemente de edad Paleozoico a Precámbrico.

Por consiguiente, la columna estratigráfica está compuesta no solamente por rocas Cenozoicas, sino también involucra secuencias del Mesozoico, Paleozoico y Precámbrico

La cuenca Salaverry se origino producto del levantamiento del borde de la plataforma continental durante el Mioceno- Plioceno y limita al SO con la cuenca Trujillo y el outer Shelf Hight (OSH) (Kulm,1981), al NO esta limitada por el alto de jequetepeque , al SE esta limitado por el alto de Huarmey y al NE el litoral. (Romero,2010)

### 2.4 Cuenca Trujillo

Esta cuenca offshore forearc se encuentra entre la plataforma externa alta Outer shelf hight (OSH) y la upper slope ridge (USR) (Thornbuurg y Kulm 1981). Algunos estudios han sugerido que las cuencas Trujillo y Salaverry comenzaron como una depresión y durante el Mioceno-Plioceno, la tectónica quechua desarrollo una alta cordillera estructural que separa el interior-Salaverry y el exterior- Cuencas Trujillo. La



cuenca Trujillo ha sido tectónicamente vinculado a otras cuencas de desgarre que se desarrollaron a lo largo de la plataforma durante el Aptiano. Estos son controlados por desgarre noreste (Tankard 2002). El estilo estructural es extensional con roll overs y fallas lítricas. También se observa subsidencia tensional, en esta cuenca se tiene el registro de cuatro pozos exploratorios, Ballena perforado hasta 975 metros que tiene como estrato final un basamento metamórfico, Delfín en una profundidad de 2668 metros el estrato final encontrado fue un basamento metamórfico de mica esquisto, Morsa Norte con una profundidad de 1281 metros con un estrato final metamórfico y Lobos a una profundidad de 2469 metros con un estrato final de arenas y conglomerados, de estos pozos se obtuvieron muestras de petróleo, sin embargo, ningún descubrimiento comercial fue reportado. Estratigráficamente, secciones gruesas de sedimentos terciarios cubren el basamento Mesozoico. Se han encontrado Campaniano-Paleoceno través clásticos Plioceno-Cuaternario en la sección de perforado en estos cuatro pozos, mayor detalle se puede observar en el anexo 1 y 2.

## **2.5 Cuenca Lima**

La Cuenca Lima es otra larga y estrecha cuenca situada entre la parte superior del upper slope ridge y outer shelf high (Thornbuurg y Kulm 1981). Esta cuenca también muestra un marco tectónico extensional con fallas normales y vuelcos asociados. La sección sedimentaria aquí cubre un alto estructural. La Plataforma de Lima se compone de Paleozoico y Mesozoico meta-sedimentos. Esta cuenca está llena de sedimentos cretácicos que subyacen a la deltaica Fluvial de marina sedimentos de la era terciaria. Dos núcleos fueron tomados durante el ODP 679 y 682 que mostró termogénico hidrocarburos.

La cuenca Lima, es una cuenca de antearco Cenozoica, que se ubica en el límite entre el Talud y la plataforma continental, frente a las localidades de Huarmey al norte y Cañete al Sur. Tiene una dirección NO-SE; se halla limitada al SO por el *Upper Slope Ridge* y al NE por el *Outer Shelf Hight*

De acuerdo al estudio de Thornburg T & Kulm L. D. (1981); el relleno sedimentario de esta cuenca es de casi dos mil metros de sedimentos del Mioceno superior o edad de sedimentos más juvenes. De acuerdo con las interpretaciones realizadas estos últimos años y basados en las analogías con la cuenca Pisco Oeste y los datos de los pozos del ODP; se piensa que el origen de la cuenca Lima, posiblemente es de edad Eoceno medio y que involucraría sedimentos de ésta edad. El *Outer SHelf Hight*, corresponde a una estructura prominente de dirección NO-SE, sub paralela a la Cordillera de los Andes. Esta estructura corresponde a la prolongación en offshore de la Cordillera de la Costa tanto del Sur (Paracas), como del Norte (Illescas).

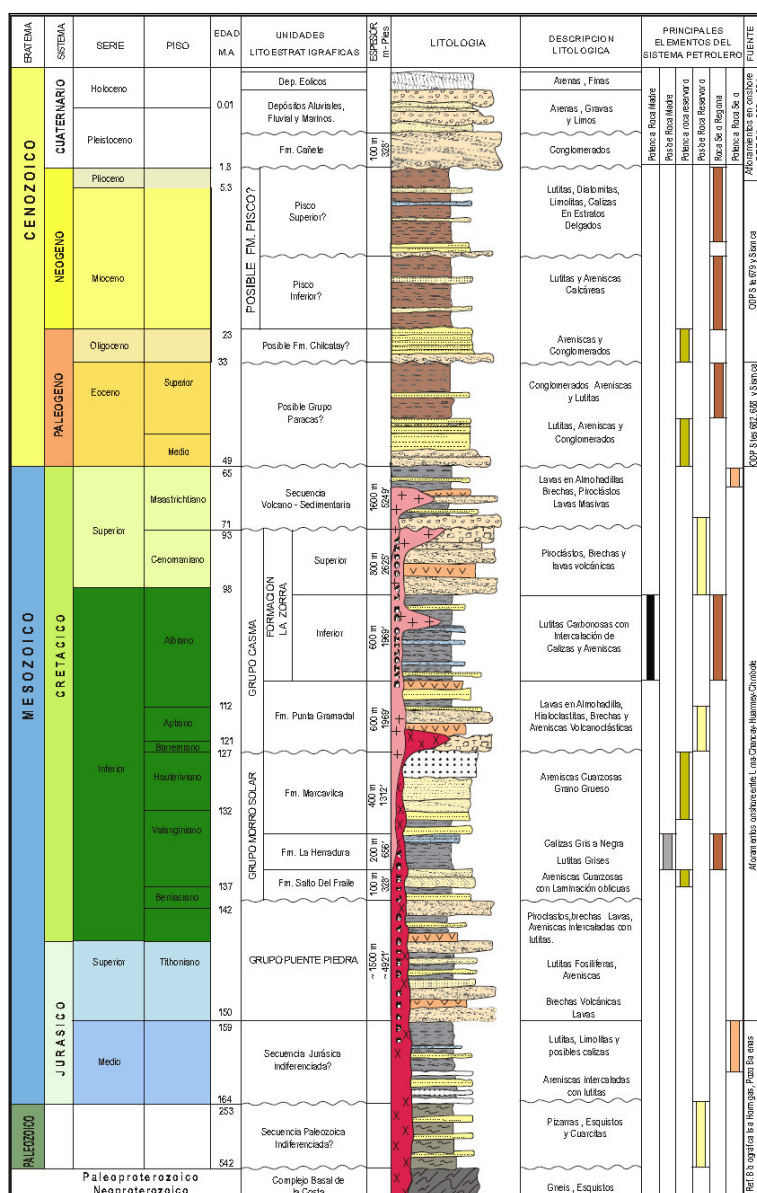
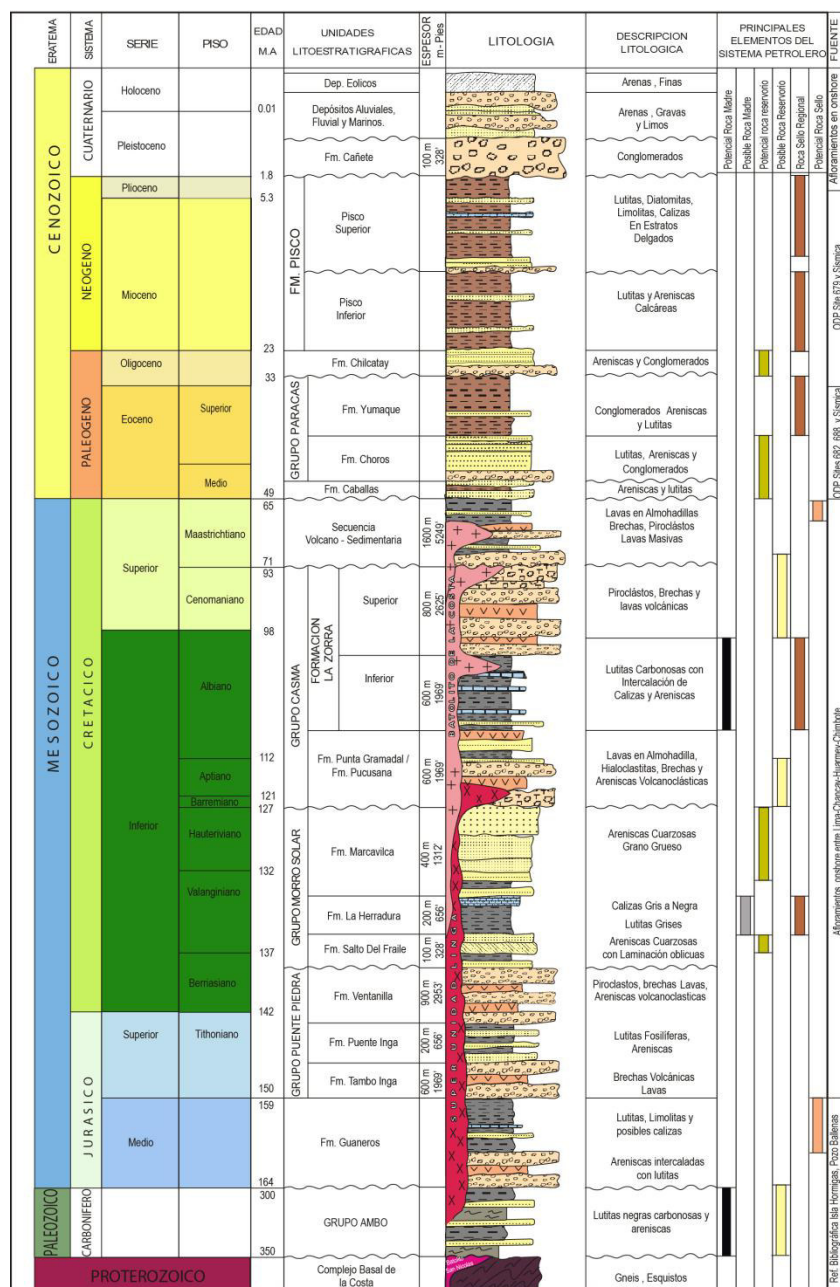


Figura 2.3, Columna estratigráfica generalizada Cuenca Salaverry, Savia Perú 2011

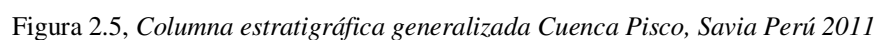
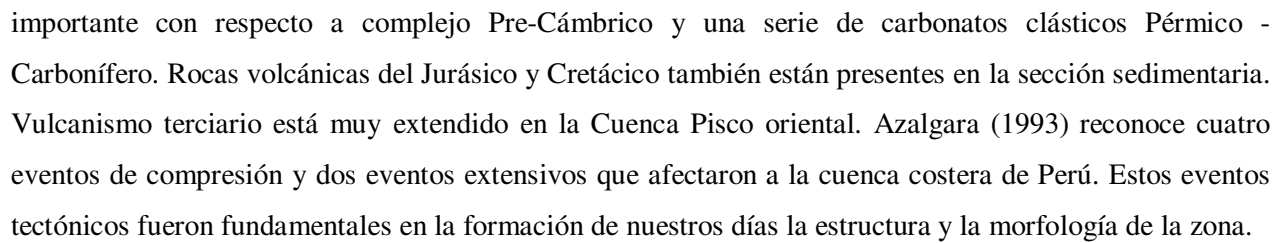
Esta zona prominente al igual que los afloramientos en Paracas y en las Islas de las Hormigas de Afuera ubicada al frente de la ciudad de Lima; muestra rocas metamórficas (Gneis y esquistos) e intrusivos. De acuerdo a dataciones de *fission track* sobre zircones y apatitas (Wipf M. A., 2006), la Cordillera de la Costa y posiblemente el *Upper Slope Ridge* y el *Outer Shelf High*, estuvieron levantándose al menos desde el Carbonífero superior-Pérmico, y principalmente desde el Jurásico medio hasta la actualidad, controlando la sedimentación de los depósitos Jurásicos, Cretácicos y Cenozoicos.





## 2.6 Cuenca Pisco

26





## 2.7 Geomorfología

La geomorfología del margen continental peruano producto de importantes movimientos tectónicos a través del tiempo el cual nos da pistas acerca de los procesos ocurridos tales como levantamiento (*uplift*), erosión, deposición y fallamientos; esto debido a la convergencia entre la placa oceánica y la placa continental (Johnson y Ness, 1981).

El ancho de la Plataforma Continental varía a lo largo del mar territorial, en Chiclayo (Pimentel), 100 km. de ancho; en Chimbote, 110 kms.; en el centro, a la altura de Lima y Callao, aproximadamente 40 kms.; en el Sur, frente a la Península de Paracas, 19 kms.,

Las placas oceánicas están formadas por dos eventos generales; el primero consiste en la elevación del manto oceánico en las dorsales del océano medio y luego, su movimiento hacia los continentes por fuerzas convectivas internas. En los márgenes continentales activos; según la teoría de placas, el proceso es ocasionado por la colisión entre sí de dos placas tectónicas (placa oceánica y placa continental); donde la placa oceánica (la cual es más densa) desciende por debajo de la placa continental. El proceso de subducción está acompañado por varios y violentos procesos geológicos tales como los terremotos, deformaciones, erupciones volcánicas, deslizamientos submarinos y tsunamis.

Además, la velocidad del movimiento de las placas oceánicas hacia los continentes y sus subducciones se encuentra en el orden de varios centímetros por año. Esto es extremadamente rápido en una escala geológica de tiempo. Sin embargo, estos procesos son extremadamente lentos a una escala humana de tiempo, muy lento para ser observado directamente. Estos procesos aún modelan la superficie del suelo marino y, la morfología submarina registra estas fuerzas que actúan sobre el mismo. Por lo tanto, representar en forma de imagen 2D y/o 3D la morfología ayuda a reconocer y comprender la acción de estos procesos geológicos y ayuda a visualizar la historia dinámica del suelo marino. (Weinrebe y Greinert, 2000).

El Alto Estructural que separa las cuencas de antearco externas e internas. Al sur de los 14 °S, este alto está representado por la Cordillera de la Costa. Entre 14 ° S y 06 °S se halla sumergido y forma el borde externo de la plataforma continental; aquí fue cartografiado por THORBURN & KULM (Op Cit.) quienes le dieron el nombre de Alto Borde de la Plataforma (Outer Shelf High: OSH). En el margen central, las islas Chincha, Hormigas, Lobos de Tierra, poseen rocas metamórficas similares. Al norte de los 06 °S esta estructura reaparece en la costa formando los macizos de Illescas, según CALDAS (1979) pertenecerían al mismo conjunto.

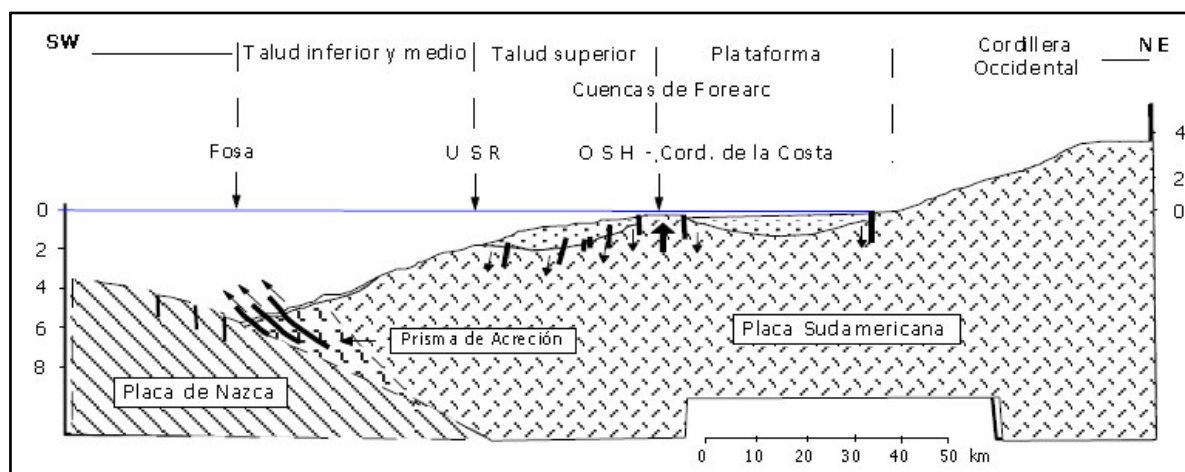


Figura 2.6, Corte transversal mostrando las características morfoestructurales (Macharé et al, 1986)

## 2.8 Estratigrafía

La columna estratigráfica completa para el presente área de estudio presenta cierta complicación por la escasa información y los pocos pozos perforados principalmente la parte central la cuenca Salaverry es aún incierta debido a que en los afloramientos vecinos a la línea de costa, no afloran unidades más antiguas que el Jurásico; así mismo, no se tiene afloramientos de toda la secuencia del Cenozoico y principalmente porque no se cuenta con ningún pozo exploratorio en esta cuenca. Sin embargo para conocer la estratigrafía regional y del basamento de la cuenca sedimentaria Salaverry; se ha realizado una revisión y análisis de gran parte de la información bibliográfica, algunos corresponden a estudios geofísicos y geoquímica inorgánica de las rocas volcánicas; estudios regionales de la plataforma continental realizados por Tornburg & Kulm (1981), estudios geológicos de la línea de costa proporcionados por INGEMMET, estudios de los pozos someros perforados por el Ocean Drilling Program (ODP) y finalmente todos los estudios realizados por SAVIA Perú S.A., que incluyen la interpretación sísmica de offshore y los trabajos de campo realizados frente a los Lotes Z-35, Z-36, Z-49, Z-52 y Z-6.



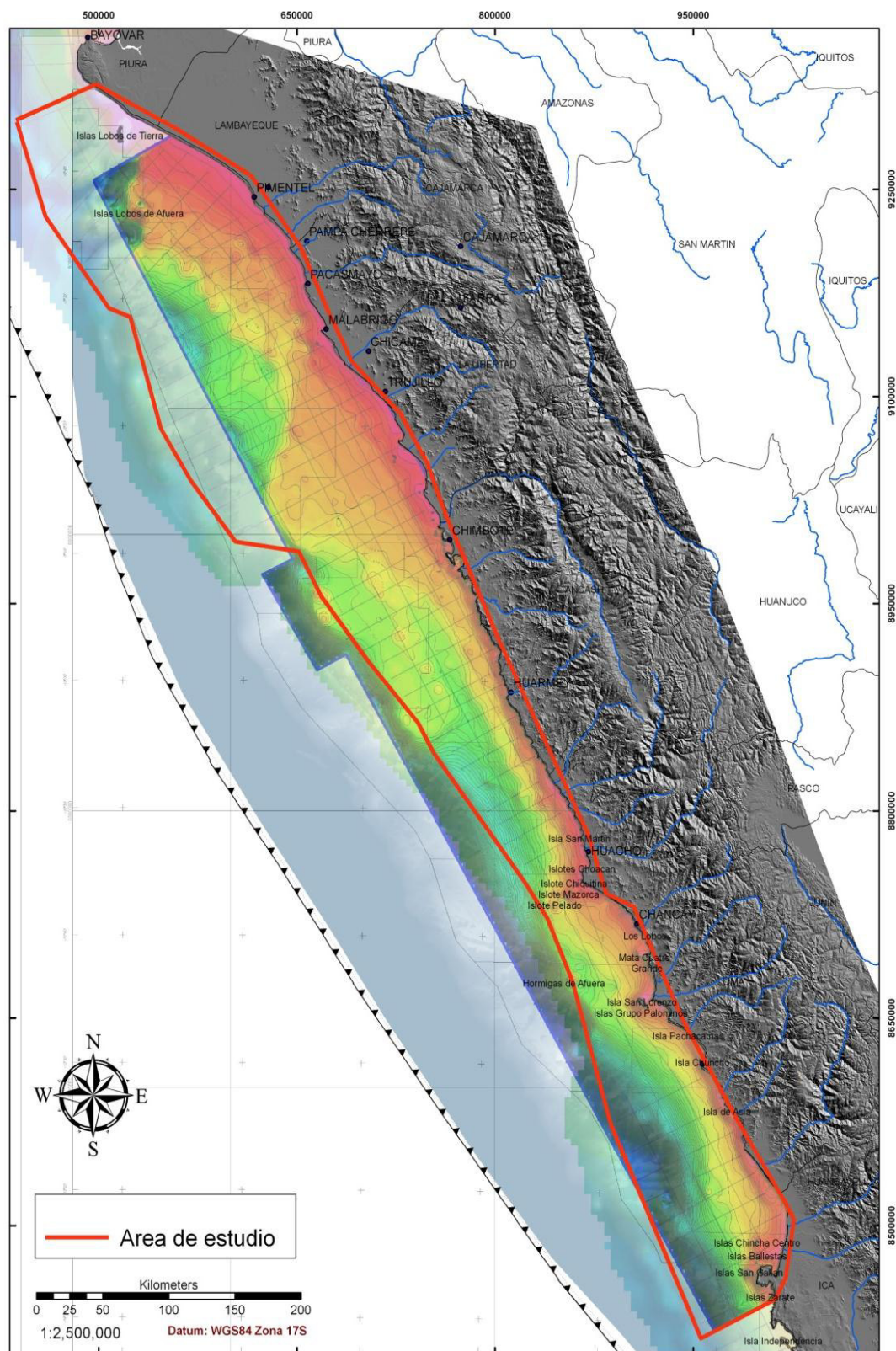


Figura 2.7, Mapa Batimétrico de La plataforma central Del Perú



### 2.8.1 Precámbrico

Las secuencias sedimentarias de las cuencas que conforman el ante arco peruano según las tres zonas definidas de norte a sur, Al norte están divididas en dos cuencas importantes Salaverry y Trujillo separadas por un alto estructural de basamento cristalino pre mesozoico la secuencias de estas cuencas es conocida por los afloramientos presentes en la costa entre Chiclayo y Trujillo, además de la información que se tiene de los pozos perforados por la compañía Occidental del Perú, Ballena 8-X-1 (Figura 12 ) y Delfín 20-X-1 (Figura 13 ) en la cuenca Trujillo, los cuales atravesaron secciones de 3198 ft. Y 8756 ft. Respectivamente, ambos atravesaron el basamento que podría ser la continuación del paleozoico que aflora en la isla de Lobos de tierra, lobos de afuera.

En la parte central del offshore los estudios realizados en la Isla de las Hormigas ubicado a 65 Km aproximadamente al NO de la ciudad de Lima (Figura 4), describen afloramientos de esquistos micáceos y gneises; así como los reportes del Pozo Ballenas 1X, que atravesó micaesquistos, cuarcitas y gneises. Finalmente, los afloramientos de gnesis, micaesquistos y migmatitas cortados por intrusivos del Batolito de San Nicolás, de edad Ordovícico, que conforman la Cordillera de la Costa desde Paracas hasta Mollendo. Todos estos datos nos permiten interpretar la presencia de un basamento Precámbrico en el área, el mismo que posiblemente corresponda al Complejo Basal de la Costa.

En el centro la cuenca Lima que al este se separa de la cuenca Salaverry con el Outer shelf high definida por Kulm, 1984 como un alto de basamento cristalino y al norte con el alto de Huarmey corroborado con datos gravimétricos y sísmica.

En el Sur las secuencias sedimentarias que conforman la cuenca pisco reconocido en los pozos ODP y afloramientos de la costa compuesta de una estratigrafía.

Las rocas que conforman el basamento del área de estudio son del precámbrico y paleozoico identificadas en los pozos perforados, Ballena 8-X-1 que al fin de la perforación registro gneiss de cuarzo- biotita, el pozo Delfín 20-X-1 (Tabla 01) que también llegó a basamento compuesto de esquistos y Filitas micáceas. En el área continental se obtuvieron evidencias de afloramientos paleozoicos en las islas y afloramientos en la zona costera cerca de la zona de estudio como se describe en el cuadro siguiente Tabla 0X. la más antigua ubicada en la Cordillera de la Costa con una edad de 600 a 2000 M.A., conocida como Complejo Basal de la Costa ( Bellido y Narváez, 1960).

### 2.8.2 Paleozoico

Estratos marinos Paleozoico superponen discordantes el final de rocas precámbricas. En el sur de Perú y Bolivia, rocas del Paleozoico acumulados en una cuenca rumbo noroeste delimitada por el escudo brasileño y el macizo de Arequipa, al este y al oeste, respectivamente, sedimentación siliciclásticas era casi





continua desde el Ordovícico medio hasta el Devónico superior, alcanzando el máximo espesor en el orden de 10.000 a 15.000 m (Megard, 1987).

La interpretación sísmica, ha permitido encontrar grábenes y semigrábenes con una potente secuencia sedimentaria; donde es posible encontrar rocas de edad Paleozoica; pero es difícil interpretar a que unidades podrían corresponder. Sin embargo, sabemos que en la Bahía de Paracas y a lo largo de toda la Cordillera de la Costa, sobreyaciendo al Complejo Basal de la Costa, afloran esquistos y cuarcitas de edad Devónico; así mismo lutitas negras carbonosas con restos de plantas y niveles de areniscas cuarzosas de edad Carbonífero inferior. Por otra parte, en el Noroeste entre Illescas y los cerros de Amotapes (tabla 01),

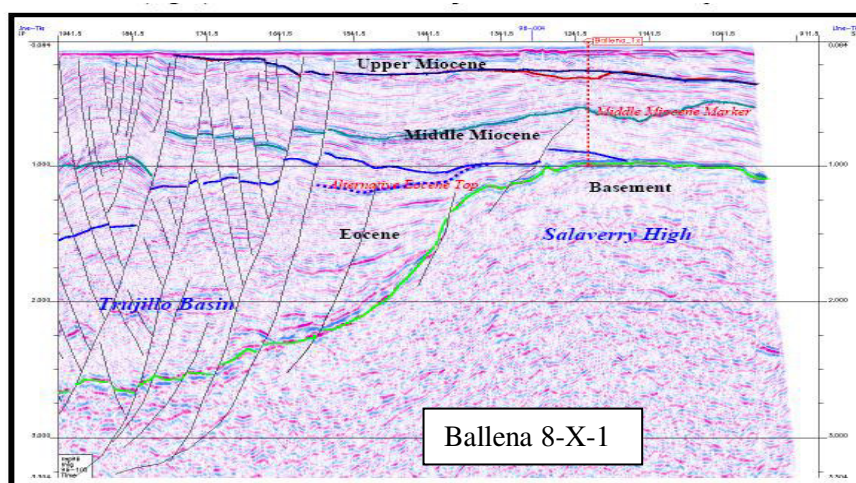


Figura 2.8, Línea sísmicas 96-105 Pozo Ballena IX

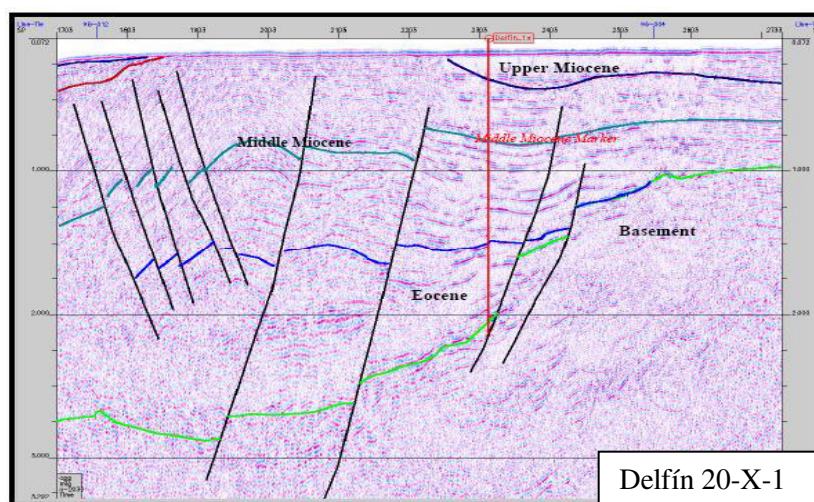


Figura 2.9, Línea sísmicas C-2030 Pozo Delfín IX



AFLORAMIENTO	LITOLOGIA	EDAD	CORRELACION	REFERENCIA
<b>Isla Lobos de tierra</b>	Esquistos	Pérmico	Prolongación del complejo de Illescas	Igemmet
<b>San Miguel 1-X</b>	Diorita	Pérmico	Extensión del Macizo de Illescas costa afuera hacia el sur.	Petrotech 2009
<b>Isla Lobos de afuera</b>	Filitas, Argilita	Precámbrico	Parte del orógeno neoproterozoico que se extiende desde el norte del Perú hasta Colombia (Ramos,2009)	Petrotech 2006
<b>Macizo de Illescas</b>	Gneiss -Migmatitas	Pérmico Tardío	Vestigio de la antigua cordillera de la costa, que se inicia desde los Amotapes.	Cardona,2006
<b>Isla Hormigas</b>	Gneiss	Pérmico Tardío	– Posee el mismo rango de edad que el macizo de Illescas y el batolito de San Nicolas	Savia 2011
<b>Macizo de Arequipa</b>	Gneiss -Granulitita	Precámbrico 932+28Ma 955+18Ma	Basamento antiguo del ante arco peruano	Chew.2007

Tabla 1, Cuadro resumen de evidencia de afloramientos Precámbricos y Paleozoicos

Sobre yaciendo al Complejo metamórfico, se tienen rocas del Devónico (Fm. Cerro Negro) y rocas del Permo-Carbonífero (Grupo Amotapes). Por lo tanto, en base a estas evidencias podemos interpretar la existencia de una secuencia al menos del Paleozoico superior (Devónico-Carbonífero), presentes en la estratigrafía para la parte central del área de estudios correspondiente a la cuenca Salaverry

En la parte sur de la zona de estudio basados en los afloramientos de la Bahía de Paracas, donde se tiene lutitas negras carbonosas con restos de plantas y niveles de areniscas cuarzosas de edad Carbonífero inferior; así mismo en el Noroeste entre Illescas y los cerros de Amotapes, sobreyaciendo al Complejo metamórfico, se tienen rocas del Devónico y del Permo- Carbonífero (Grupo Amotapes). Por lo que interpretamos posiblemente la existencia de una secuencia del Paleozoico superior (Devónico-Carbonífero), y más probablemente de edad Carbonífero inferior (Grupo Ambo).





### 2.8.3 Mesozoico

En la costa y tanto en la cordilleras de la Costa y la cordillera Occidental, sobreyaciendo directamente y en discordancia al Carbonífero se tiene los depósitos del Jurásico; así mismo hacia el este en el área de Churín se tiene en afloramiento una secuencia de areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas de edad Jurásico medio (Calloviano); por lo tanto podemos interpretar para la parte central en al área costa afuera del Perú central frente al departamento de Ancash, desde la altura de la localidad de Chimbote hasta la altura de la localidad de Barranca, toda esta área se encontraría sobreyaciendo al Paleozoico superior, se tendría posiblemente una secuencia Jurásica media a superior indiferenciada.

De acuerdo a los trabajos de campo realizado por SAVIA PERÚ S.A. y sumado con la información bibliográfica, se interpreta que las unidades estratigráficas regionales aflorantes al sur en la región de Lima, se prolongarían hacia la parte central; por lo que sobreyaciendo a la secuencia Jurásica indiferenciada, se tiene una secuencia volcano-sedimentaria denominada Grupo Puente Piedra (Jurásico Superior a Berrasiano) que hacia el offshore podría tener menos influencia volcánica y estar correspondido por rocas sedimentarias equivalentes a la Fm. Chicama del Jurásico Superior.

El Gpo. Puente Piedra ha sido dividido en las formaciones Tambo Inga compuesta por una secuencia mayormente volcánica, a la que sobreyace la Formación Puente Inga, compuesta principalmente por areniscas y lutitas con fósiles; hacia la parte superior se tiene a los volcánicos Ancón y a la Formación Ventanilla las que están compuestas por secuencias de intercalación de areniscas, lutitas y volcánicos. Sobreyaciendo en discordancia erosional, se tiene al **Grupo Morro Solar del Valanginiano Hauteriviano**; que está compuesta en la parte inferior por areniscas cuarzosas con laminaciones oblicuas planas definidas como Formación Salto del Fraile, a la cual sobreyace concordantemente una secuencia de lutitas negras laminadas intercaladas con algunos estratos de areniscas, denominada Formación La Herradura; finalmente y en concordancia se tiene una secuencia compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, definida como Formación Marcavilca.

Sobreyaciendo al Grupo Morro Solar y en discordancia tenemos los depósitos volcano sedimentarios del Grupo **Casma (Berriasiano? -Cenomaniano)**, que afloran a lo largo del litoral desde Huacho hasta Chimbote. Este Grupo en la parte central está compuesto por dos formaciones, siendo estas, las formaciones **Punta Gramadal** y **La Zorra**. La Fm. Punta Gramadal está compuesta por depósitos volcánicos y volcano-sedimentarios; mientras que la Fm. La Zorra que representa el **Albiano**, presenta dos secuencias una inferior compuesta principalmente por una secuencia de lutitas grises a negras intercaladas con calizas y areniscas; otra secuencia superior compuesta por depósitos volcano sedimentarios. Sobreyaciendo al Grupo Casma se tiene una secuencia volcano-sedimentaria de edad Maastrichtiano-Daniano, que aflora a lo largo de la Costa entre Huacho y Chimbote, donde está compuesta por una



secuencia principalmente volcánica de lavas, brechas y piroclastos, de arco volcánico; por interpretación sísmica postulamos que los depósitos correspondientes a esta unidad hacia el oeste es posible que tenga menos influencia volcánica y se espera que en la parte central presente una secuencia mas sedimentaria.

AFLORAMIENO	LITOLOGIA	CORRELACION	EDAD
Isla Loberas	Diorita	Cerca de la zanja, muestra la cantidad de erosión cortical por subducción que afectó el margen continental desde el Cretácico Inferior	Barremiano
Isla Macabí	Basaltos alterados	Pudo haber sido parte de esta cuenca Jurasico inferior Cretácico.	Triásico Medio
Islote Pelado	Diorita	Muestra una posible continuidad del arco volcánico	¿?
Isla Mazorca	Gabro Diorita	Muestra una posible continuidad del arco volcánico	Aptiano
Isla Huampanu	Protolito fue una diorita de grano grueso.	de edad Hauterviano Barremiano (Formacion Pucusana y Super Unidad Linga)	117.0 ± 2.0 Ma.

*Tabla 2, Resultado de las dataciones U-Pb y Ar-Ar de la campaña de campo Savia 2011, Afloramientos Triásico y Cretácico*

#### 2.8.4 Cenozoico

El Cenozoico en la parte central (onshore), se encuentra ausente preservándose únicamente en la plataforma continental (offshore), dentro de la cuenca Salaverry. De acuerdo con la interpretación sísmica, los estudios del Ocean Drilling Project (ODP) y los pozos perforados como Ballenas 1X en el Alto Salaverry y el pozo Delfín 1X en la cuenca Trujillo; podemos interpretar que es posible que en la parte centra frente a la costa de Chimbote, Casma hasta Huarmey, exista un remanente de depósitos del **Eoceno medio a superior** y posiblemente correspondería al **Grupo Paracas** compuesto por conglomerados y areniscas en la parte inferior y lutitas y limolitas en la parte superior. Sin embargo, los depósitos correspondientes a la evolución de la cuenca Salaverry propiamente dicha, se iniciarían en el **Oligoceno** hasta el **Mioceno**; estos depósitos posiblemente correspondan a la **Fm. Chilcatay (Oligoceno)** y la **Fm. Pisco (Mioceno)**, definidas en la cuenca Pisco, ubicada al sureste de la cuenca Salaverry. En estas cuencas el Mioceno medio es interrumpida por la dorsal de Nazca, este evento tectónico es responsable de la inversión tectónica de fallas normales.



Finalmente, en los trabajos de campo, se ha podido observar en las localidades de Huarmey, Culebras y al norte de Huacho, afloramientos de una secuencia de aproximadamente 20 m de conglomerados polimícticos con clastos redondeados a subredondeados de hasta 30 cm de diámetro; cuya base de esta secuencia no ha sido posible observar. Sin embargo, en otros afloramientos estos conglomerados se hallan como remanentes, sobreyaciendo en discordancia principalmente al Grupo Casma. Por las similitudes con los conglomerados cuaternarios aflorantes al sur de Lima, entre Cañete y Chíncha; hemos considerado denominarlas del mismo modo como **Formación Cañete (Pleistoceno)**. Hacia la plataforma continental y dentro del área, se han reconocido estos depósitos tanto por el ODP Site 679 y 680 (Ocean Drilling Project), como en las líneas sísmicas, donde estos depósitos alcanzan espesores de hasta 60 m y se encuentran en discordancia sobre la secuencia del Mioceno (equivalente a la Fm. Pisco).

## 2.9 Magmatismo

La plataforma peruana presenta evidencias de magmatismo ocurrido en forma discontinua y segmentada, según la información magnetométrica y gravimétrica que evidencias la existencia de cuerpos que poseen densidad y susceptibilidad magnética muy altas lo que genera zonas de anomalías que podría indicar actividad plutónica, en determinadas épocas geológicas desde el Proterozoico hasta el Holoceno.

En el continente costero aledaño a la zona de estudio, los estudios petroquímicos y mineralógicos señalan que la serie magmática, que caracteriza la parte peruana de la Cordillera de la costa, es mayormente calcoalcalina, aunque existen algunos cuerpos plutónicos de naturaleza alcalina, como se muestra en la figura 2.10.

Las rocas plutónicas están bien representadas por batolitos que se encuentran a lo largo de la costa. Los batolitos más destacados son en la zona sur el de San Nicolás y Camaná de edad precámbrico, el batolito de la Costa de edad Cretácico-Terciario en la zona central y al norte el Batolito de Higueron de edad Paleozoico.

### 2.9.1 Magmatismo Proterozoico

La plataforma peruana está situada bajo un ámbito de borde de pasífico oriental, de basamento cratónico probablemente que desempeña un papel esencial en su estructura, tanto desde el punto de vista tectónico como del magmático presenta intrusiones en todo el largo de la cordillera de la costa.

### Intrusiones en la Cordillera de la Costa

Los intrusivos a lo largo de la cordillera surgen en diferentes edades y ambientes geológicos lo que origina una diferente génesis. Resultado de esto se tienen cuerpos intrusivos con diferentes composiciones y tipos de emplazamiento en toda la cordillera de la costa.

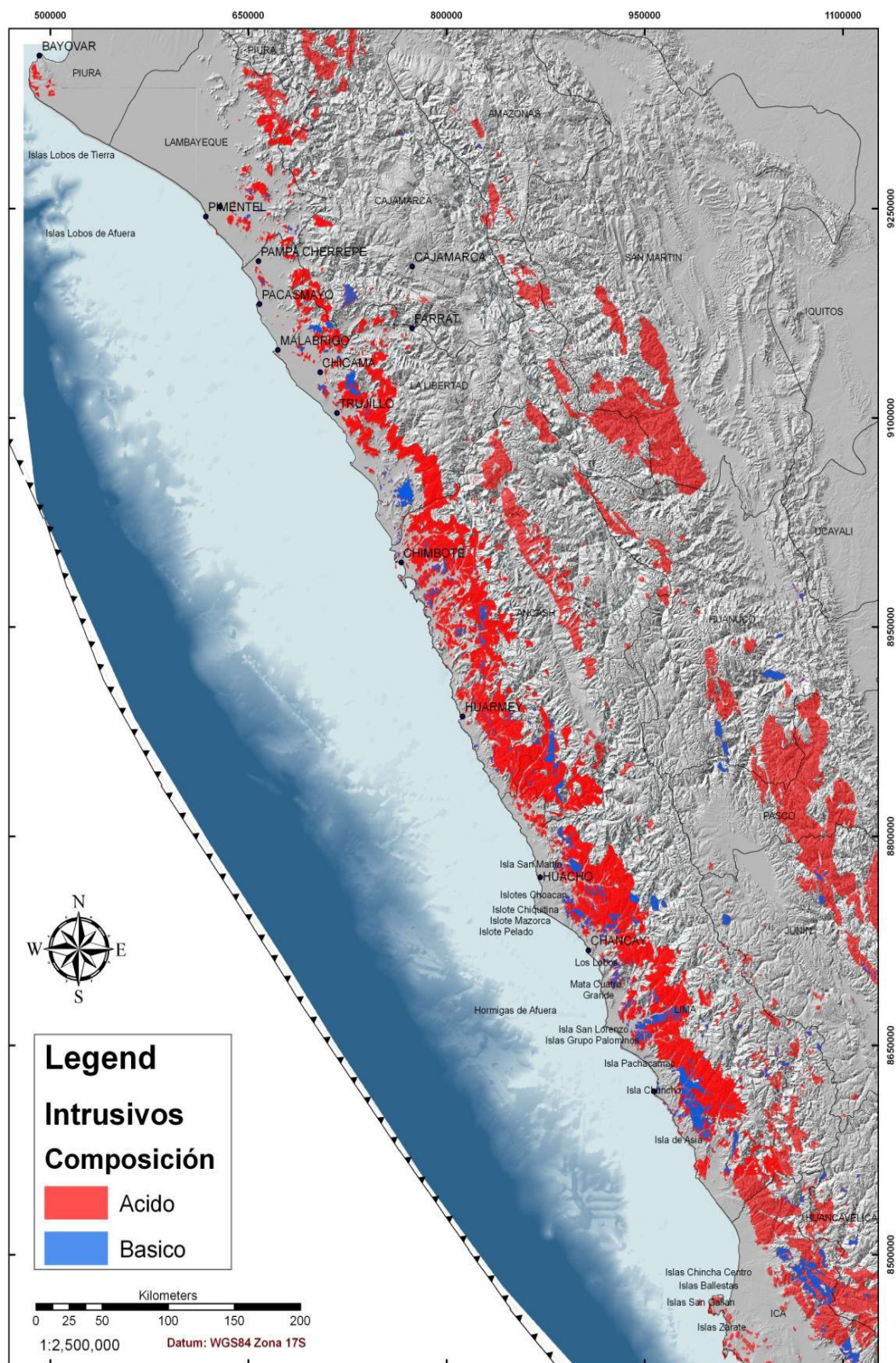


Figura 2.10, Mapa geológico generalizado según composición química de los intrusivos





Los intrusivos del macizo Illescas y de los cerros Amotapes, que presentan localmente los minerales primarios alterados, parecen ser más antiguos. Son rocas intrusivas más comunes asociadas al basamento metamórfico con dioritas, granodioritas y granitos rojos, con cuarzo, plagioclasa y feldespatos potásicos como minerales principales y micas (muscovita, biotita) y hornblenda como minerales accesorios.

En la Costa Sur (San Juan, Acarí, Yauca), se encuentran migmatitas que megascópicamente consisten de finas bandas petrográficamente diferenciables. Una, compuesta por materiales melanócratos en un estado más o menos metamórfico, consiste de biotita, sericita y otros minerales oscuros; otra, leucócrata, está integrada por un agregado de cuarzo y feldespato. También se encuentran granitos gneisoides, que vistos al microscopio muestran cristales de ortosa microclinizados y en sectores pertitizados, el cuarzo ha fluído en un medio sólido fracturándose y la matriz milonítica ha sufrido una neomineralización contemporánea a este proceso.

Algunos granitos antiguos que intruyen a las rocas metamórficas en forma de stocks y diques están asociado con pegmatitas. En determinadas zonas las pegmatitas se encuentran concordantes con la foliación gneisica. Mostrando igualmente, cierta orientación de minerales en los bordes. Las cajas están compuestas esencialmente por metamorfitas que no han sufrido mayor deformación a causa de la intrusión. El contacto con la roca ígnea es generalmente sin transición y parece no haber metamorfismo de contacto. Una muestra de anfíbolita y otra de granito poco deformado datadas por Rb/Sr, tomadas del Cerro Tres Hermanas (San Juan), indican edades de  $970 \pm 45$  M.A. y  $809 \pm 40$  M.A. respectivamente pudiendo representar alguna fase metamórfica o evento termal.

El granito de Camaná, junto con un gneis granítico y un granito con muscovita al norte de Atico, analizados por el método Rb/Sr en toda la roca, muestran una relación lineal aproximada con una isocrona de  $539 \pm 90$  M.A. y una proporción inicial de  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  de 0,7084 más ó menos 0,0013 (intersección con ordenada). El no alineamiento perfecto de los tres puntos se interpreta como error experimental por pérdida ó ganancia de rubidio y/o estroncio. Sin embargo, las edades de  $679 \pm 12$  M.A. (gneis graníticos),  $642 \pm 16$  M.A. (gneis básico),  $540 \pm 27$  M.A. (granito milonítico), relacionadas con la isocrona anterior, sugieren que durante el Neo Proterozoico-Cambriano inferior ocurrió un evento de migmatización que afectó tanto al gneis como a los esquistos.

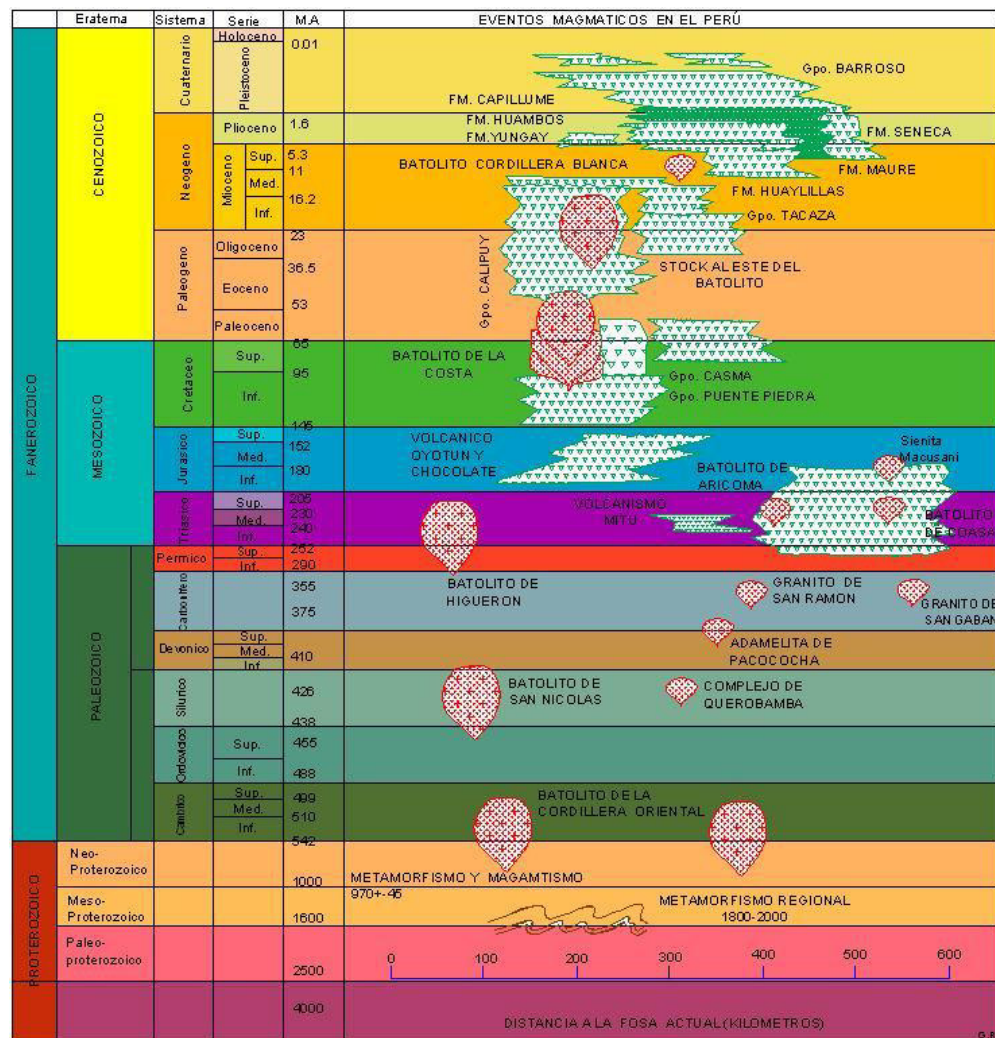


Figura 2.11, *Eventos magmáticos en el Perú- Modificado de A. Sánchez 1994*

## 2.9.2 Magmatismo paleozoico

### Plutonismo del Paleozoico inferior

La actividad magmática plutónica del Paleozoico inferior se muestra en el macizo de Arequipa, en dos formas: (1) el complejo ígneo tectónico Camaná-Atico de 440 M.A. de antigüedad según Rb/Sr, (Shackleton y otros, 1979), (2) el batolito granodiorítico post-tectónico de San Nicolás, mencionado por Pitcher (1974), con edades K/Ar de 440/430 M.A. reportadas por Wilson P. (1975), y una isócrona Rb/Sr de 329 M.A. según Shackleton y otros (1979).



## Batolito de San Nicolás

Entre la Península de Paracas, incluyendo a las islas contiguas y el área de Marcona, se presenta un conjunto de plutones cuyas características petrográficas son similares al Batolito de la Costa (Rüegg W., 1953).

Durante la fase de la intrusión se desarrollan 3 tipos de rocas predominantes: (1) un núcleo de adamelita gris rosada de grano grueso con incremento de feldespato potásico y ligera disminución de hornablenda; (2) una parte intermedia de granodiorita gris mesócrata de grano grueso, caracterizada por tener cristales tabulares de hornablenda; (3) la parte marginal de dioritagabro gris verdosa con un alto contenido de plagioclasa (66%). La actividad magmática que originó el Batolito de San Nicolás, conocido tradicionalmente como “granodiorita San Nicolás”, tiene la particularidad de manifestarse únicamente en la Cordillera de la Costa, intruyendo a unidades del Complejo Basal de la Costa y a formaciones calcáreas pre-mesozoicas. Se tienen intrusiones menores pertenecientes al mismo magmatismo, representadas por diques y pequeños stocks de pórfido rojo cuarcífero y alaskita. También han intruído cuerpos subvolcánicos porfiríticos de andesitas microporfíricas, dacitas porfíricas y microdioritas.



Figura 2.12, *El basamento de los Andes Centrales: Arequipa*, Víctor A. Ramos

El Batolito de San Nicolás se encuentra aislado del Batolito de la Costa por una amplia franja de fallamiento que determina la Depresión Preandina, probable factor de control de sus emplazamientos.



Wilson P. (1975), determinó dos pares de edades K/Ar en biotita-hornblenda en el Batolito de San Nicolás. El primer par dió de  $442 \pm 10.4$  a  $438 \pm 9$  M.A., mientras el segundo par concordante dió edades de  $428 \pm 12.2$  y  $421 \pm 10.9$  M.A. Finalmente obtuvo una isocrona en roca total por Rb/Sr que dió una edad de  $400 \pm 22$  M.A. encontrándose discrepancia entre las dataciones k/Ar y Rb/Sr. En todo caso es aceptable asumir una edad de 420 M.A. para el Batolito de San Nicolás, por lo que se considera de edad silúrica.

### Intrusivos de Higueron

Los intrusivos de higueron son de edad Permo- triasico es una seri de grandes plutones de granitos estan estrechamente asociadas en espacio y tiempo al vulcanismo y la fracturacion, observandose cizallamiento transversal claro. Los intrusivos de higueron son rocas intrusivas meteorizados conformadas por un ortogneis, dacitas y granodioritas.

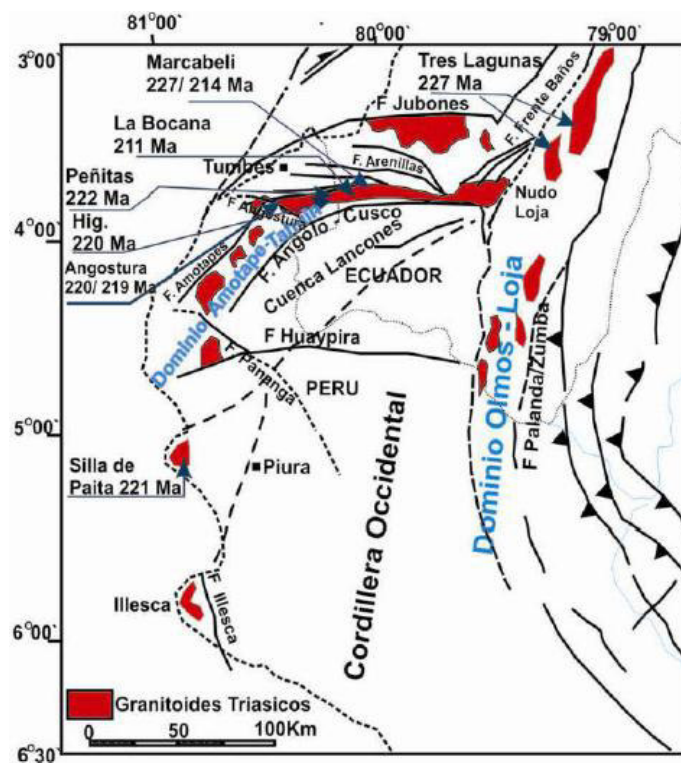


Figura 2.13, Esquema estructural del Norte del Perú y sur de Ecuador. Distribución de granitoides Triásicos, J.Sanchez 2008





### **2.9.3 Plutonismo mesozoico-cenozoico**

#### **Batolito de la Costa**

El Batolito de la Costa es una intrusión múltiple y compleja formada predominantemente por tonalitas y granodioritas que ocupan el núcleo de la cordillera occidental. Tiene 1,600 Km. de largo y más de 65 Km. de ancho. Sumando los plutones aislados que se extienden en el alineamiento plutónico desde Chile al Ecuador, la longitud alcanza a 2,400 Km.

Desde el punto de vista de su composición el Batolito de la Costa ha sido dividido en cinco segmentos: Piura, Trujillo, Lima, Arequipa y Toquepala.

En la tabla N° 4 se describen los rasgos característicos de las principales unidades y super unidades del segmento Lima del Batolito de la Costa. En la tabla N° 5 se describen las principales características de las super unidades del segmento Arequipa. Ambas han sido estudiadas y cartografiadas con mayor amplitud, en comparación con los otros tres segmentos.

#### **Petrografía y Componentes del Batolito**

Los tipos de rocas expuestas en el Batolito de la Costa varían considerablemente, y van desde gabros a olivino y piroxeno, hasta granitos potásicos.

El porcentaje areal a nivel de todo el Batolito es: gabrodiorita: 15.9%, tonalita: 57.9%, monzonita: 25.6%, granito: 0.6% Para el segmento de Arequipa, según Jenks y Harrison (1,979), gabro-diorita: 7%, tonalita: 55%, granodiorita y monzonita: 32%, granito: 4%.

El orden de intrusión de básico a ácido es también regular; aunque en el Perú es posible distinguir dos tipos de ritmos básico-ácido: (1) Ritmo principal inicial que da lugar a los cuerpos más extensos de gabro, diorita y diorita cuarcífera; y (2) Ritmo tardío de tonalita y sienogranitos; pero dentro de este último hay ritmos menores ó secundarios como se observa en los complejos tonalíticos grandes.

Capdevilla R. (1977) señala que en el Perú Central las características mineralógicas indican un emplazamiento a alta temperatura: ortopiroxenos, plagioclasas cálcicas, y plagioclasas feldespáticas potásicas peritíticas (cuando existen).

Las características mineralógicas indican también la pertenencia de estas rocas a una serie calcoalcalina, confirmada por análisis químicos en el Sur del Perú (Bearth 1938, Jenks y Harris 1953).

#### **Geometría y Estructura**

De un modo general, la geometría de los macizos que constituyen el Batolito de la Costa esta controlada por el orden regular del emplazamiento que va de los más básicos a los más ácidos.

Las unidades más básicas (gabro-dioritas), afloran en el borde del batolito ó en el seno de las unidades ácidas más recientes; formando macizos sin forma definida con una superficie que no sobrepasa los 100 Km<sup>2</sup>. Pueden también formar barreras correspondientes a porciones desgarradas del magma.



Las tonalitas, granodioritas y ciertos monzogranitos forman macizos a manera de “columnas” alargadas paralelas a la dirección del batolito, dispuestas simétricamente a su eje, pudiendo llegar a tener 100 Km de largo y 10 a 20 Km de ancho.

La estructura del Batolito es simple: planos de flujo verticales y paralelos a la dirección general del alineamiento del macizo. Los contactos con la roca encajonante son verticales.

Entre los 10° 30' y 11° 30' de Latitud Sur, el resto de monzogranitos y los granitos forman macizos de estructura anular ubicados en el eje del batolito (Cobbing y Pitcher 1972, Myers 1975 y Bussell et. al., 1976).

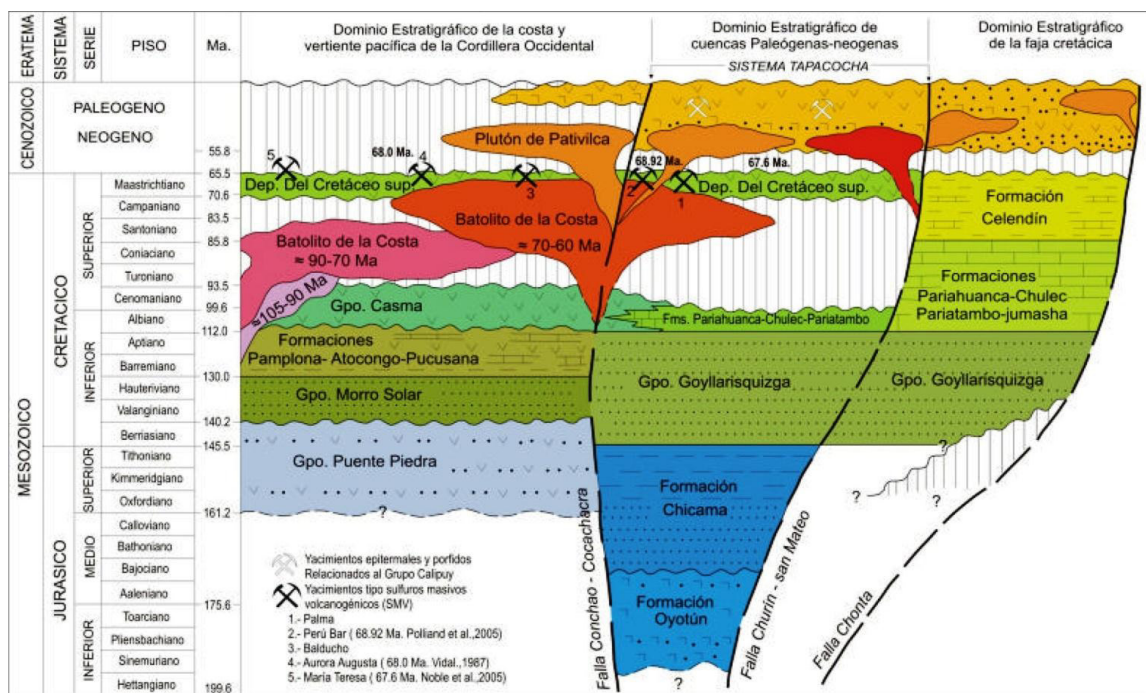


Figura 2.14, El Batolito de la costa tiene una edad entre los 90 – 70 ma y 70 – 60 ma (Romero, 2007).

El Batolito de la costa tiene una edad entre los 100 – 30 ma, siendo las rocas predominantes gabros, tonalitas y granodioritas (Pitcher, 1977).

-El Batolito de la costa tiene una edad entre los 90 – 70 ma y 70 – 60 ma (Romero, 2007).

-El Emplazamiento del Batolito de la Costa ocurrió a los 91.9 ma (Sistema Cretáceo, piso Albiano), a comparación del Batolito de la Cordillera Blanca cuya edad está entre los 13 a 5 ma (Aleman et al).

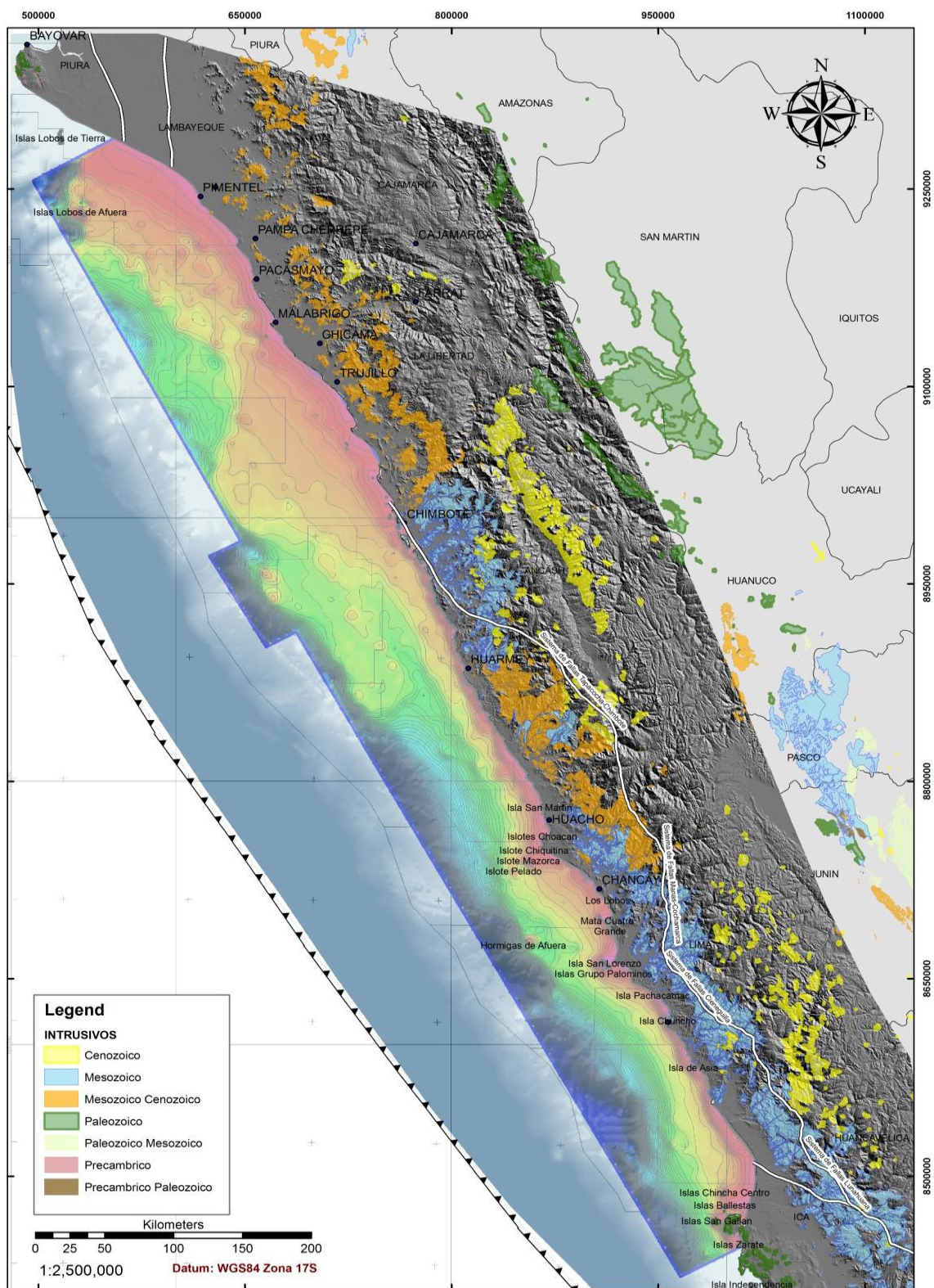


Figura 2.15, Distribución de intrusivos en la costa cronológicamente. Fuente: INGENMET-SAVIA PERU





### 3 CAPITULO III MARCO GEOFISICO

#### 3.1 Instrumentación Y Adquisición

La gravedad puede ser recogida en tierra, en el mar, en el aire, y por satélite. En tierra, mar y aire, mayoría de los sensores consisten en una masa en el extremo de un resorte. En las mediciones de la gravedad dinámica en el mar o en el aire, la posición de la masa y la tensión del muelle se registran de forma continua. El instrumento está en una plataforma estabilizada en la medición de mantener una posición vertical. En una medición dinámica de la gravedad, cuidado se debe tomar para no perder de vista la posición de la plataforma. La gravedad que resulta es por lo general no es tan preciso como los datos de la tierra.

Gravedad satélite se deriva de la altimetría radar por satélite de la superficie del mar. El mar se ajusta para el campo de gravedad de la tierra, la primera derivada de la altura de la superficie del mar es la gravedad a nivel de la superficie del mar. Dado que el satélite sólo puede medir la gravedad sobre el agua, sólo las áreas marinas y grandes lagos tienen estos datos. La calidad de los datos es algo comparable a la superficie adquirida en los datos, aunque la resolución de longitud de onda suele ser peor para los datos de satélite

##### 3.1.1 Instrumentación

###### ➤ Gravímetro

Se utilizaron los equipos de adquisición, LaCoste y Romberg S-57 *marine gravity meter*, integrados a la embarcación m/v DIGICON EXPLORER a una distancia de 5.15 metros de la antena GPS (figura20) El medidor consiste en una gran amortiguación cero de longitud de la gravedad del tipo de resorte sensor, montado en una plataforma estabilizada, con un control digital electrónico y un sistema de gravado a tiempo real (ZLS).

El principio básico del sensor es que una masa se encuentra suspendida por un resorte sensor (spring-type gravity sensor). Cuando esta tensión es usada para medir gravimetría a bordo

###### ➤ Magnetómetro

Se utilizo un **GEOMETRIC G-801**, Gravímetro marino posicionado a 219.29 metros de la antena **GPS**, El magnetómetro y el cable flotante se monta en el lado de babor del cabrestante para permitir el despliegue de la sonda de 180 metros de la embarcación. El **GEOMETRIC G-801**, consiste de una consola **Unit G-801**. El sistema de gravado de los datos tanto de gravimetría como de Magnetometría se realizaron de manera simultánea y a tiempo real por **LCT**.

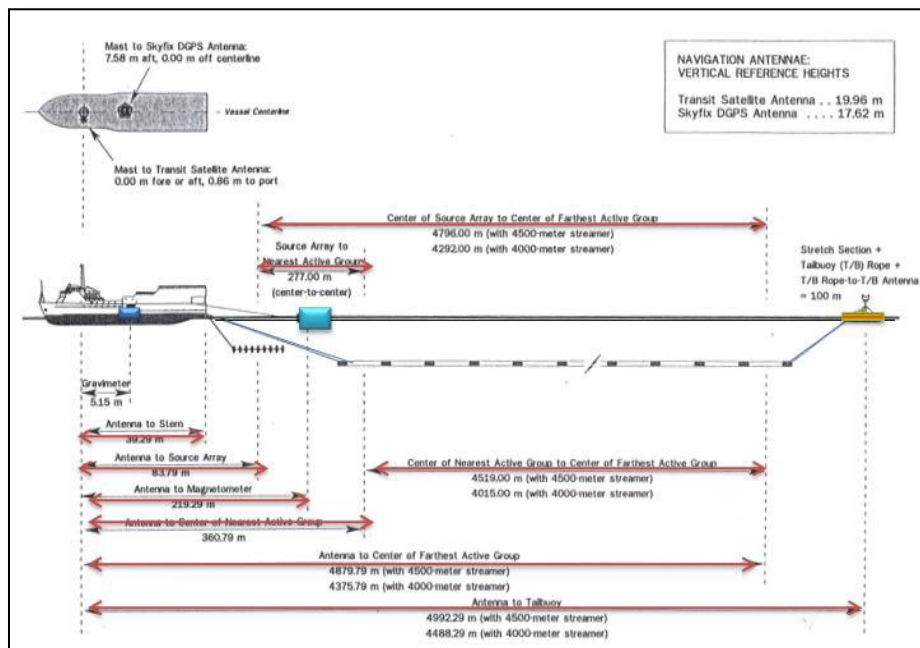


Figura 3.1, Esquema del barco de Adquisición del proyecto Rybiana 1993 M/V Digicon Explorer

### ➤ Procesamiento

Los datos de de gravedad, medida debe ser corregida para el campo de la Tierra (Chapin, 1996a). Hay cinco categorías de correcciones como indica el siguiente cuadro:

Corrección	Definición	Parámetros de entrada
<b>Latitud (Latitudes)</b>	Por la forma elipsoidal y la rotación de la Tierra, ya que es más ancha en el Ecuador y esta achatada en los Polos	Latitud
<b>Aire libre (Free Air)</b>	Corrección debido a que las observaciones no están al nivel del mar.	Elevación
<b>Bouguer</b>	A la corrección del aire libre se vuelve a agregar la roca entre la observación y el nivel del mar .	Elevación y densidad de superficie
<b>Topografía (Terrain)</b>	Simplificación de la corrección de Bouguer en áreas de alto relieve.	Topografía detallada y densidad de superficie
<b>Eötvös</b>	La gravedad recogida en la plataforma móvil tiene una velocidad angular de la plataforma diferente plataformas móviles una de plataforma de tierra que la gravedad	Velocidad de plataforma

Tabla 3, Cuadro resumen de las correcciones Gravimétricas





### **3.2 Fundamentos de la Gravimetría**

Una anomalía de gravedad se origina debido a variaciones en la distribución de densidades en la Tierra. Sea, por ejemplo, un cuerpo rocoso de densidad distinta a la de las rocas adyacentes. El contraste de densidad entre ellos es el responsable de una variación en la gravedad en las cercanías de esa zona, cuya extensión y magnitud depende del contraste de densidad entre el cuerpo causante y las rocas de su entorno, de su forma y de la profundidad a la cual se ubica el cuerpo (en la Figura xxx se hace un comentario adicional a esto). Reconocer y aislar las anomalías generadas por variaciones de densidad locales requiere una serie de modificaciones sobre la gravedad medida conocidas con el nombre de correcciones, cuyo propósito es remover los efectos que sobre la medición han tenido antes distintos a los cuerpos de interés. Como cuerpos de interés se denotan aquellos que son el objeto de la interpretación, excluyendo por tanto a las variaciones causadas por la rotación de la Tierra, efectos internos del instrumento de medición, elevación a la cual la medida fue tomada y la atracción ejercida por los océanos.

Algunas de tales correcciones son claras en cuanto a la necesidad de su implementación y a la técnica usada para calcularlas, otras llevan la carga de demasiadas suposiciones como para que su magnitud se corresponda efectivamente con la realidad. Entre las primeras se incluyen la llamada corrección de aire libre, que añade o resta al valor observado de la gravedad el efecto de la elevación a la cual dicha medida fue tomada y la corrección por el efecto de las mareas. Más relacionada con una abstracción que con la realidad es la corrección de Bouguer, cuyo problema está en el argumento que lleva a definirla; además del problema de la elección de la densidad de corrección, dificultad que comparte con la corrección debida al terreno.

Métodos de gravimetría nos ayudan a identificar el tamaño, forma y profundidad de las masas anómalas. La gravimetría muestra contrastes laterales en el subsuelo.

Particularmente es bueno en la localización de estructuras geológicas en posición horizontal. Sin embargo, no es tan bueno como el magnetismo en la determinación de la profundidad a la fuente, porque la densidad de las distribuciones tienden a ser difusas de la subsuelo.

#### **La gravimetría tiene los siguientes usos:**

- Determinar la forma de los domos de sal
- Localización de estructuras en placas de empuje o de rocas volcánicas
- Localización de fallas mayores y determinar el sentido de movimiento en las fallas
- Encontrar los arrecifes
- Localización de intrusivos



- Definición de la configuración general de la cuenca
- La determinación de continuar la tendencia estructural entre los pozos y datos sísmicos
- Asignación de características tectónicas grandes

**La gravimetría tiene ventajas sobre otros métodos:**

- Rápido, herramienta de bajo costo para la evaluación de grandes áreas
- Puede distinguir las fuentes en las profundidades de exploración
- no destructivos, medidas de un campo existente a través de una medida pasiva
- Se puede utilizar, en la actualidad los datos antiguos y se integran fácilmente con los nuevos datos
- Flexible a mejoras posteriores de manera simple
- La medición de escalar puede producir un mapa pseudoestructural

Los efectos de la gravedad causada por la geología del subsuelo se sobreponen sobre el campo gravitatorio de la Tierra en general. Estos efectos son llamados anomalías, son típicamente menos de 100 ppm de la totalidad del campo. Varias correcciones se hacen para eliminar el campo de la tierra de la medida total a la imagen de estas anomalías. Para la exploración de petróleo, la gravedad se mide en milligals (mGal). Anomalías típicas de exploración son generalmente  $<25$  mGal. Sensores Típica gravedad son capaces de mediciones  $<0.5$  mGal.

**Ejemplos bidimensionales**

Por lo general las estructuras geológicas no son isométricas, en tanto que una de sus dimensiones destaca de las demás: son estructuras alargadas. Sean zonas de fractura, diques, fallas, zonas de ruptura y anticlinales; estas estructuras están comúnmente alineadas en una dirección horizontal preferencial y por ello, las anomalías de gravedad o magnéticas generadas por ellas están alineadas análogamente. Si las anomalías producidas están lo suficientemente alineadas, puede facilitarse el problema al considerar que la anomalía sea función únicamente de la forma de la sección del cuerpo; es decir, que si hacemos el eje y coincidir con la dirección preferencial del cuerpo, entonces la anomalía es función de  $x$  y de  $z$ . Es por esto que se habla de cuerpos bidimensionales.

Un medio más práctico de representar configuraciones geológicas es el reemplazar en los cálculos la sección transversal del cuerpo por un polígono simplificado. Bajo la suposición de que el cuerpo es alargado y de que la forma de su sección es lo que hace la diferencia, el problema se simplifica al repetirse a lo largo de una dimensión una sección representativa del cuerpo. (Figura 3.2).

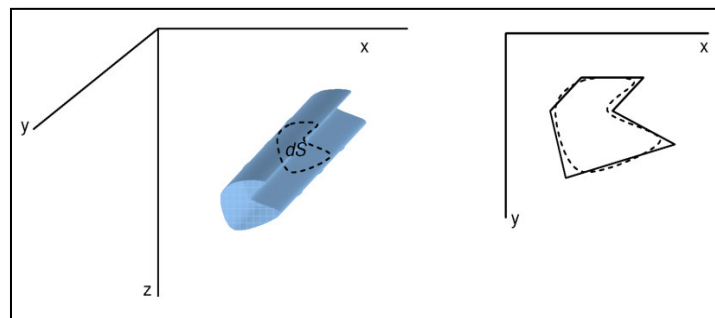


Figura 3.2, Aproximación de un cuerpo tridimensional por medio su sección transversal, la cual, a su vez, está aproximada por un polígono. El cálculo de la anomalía se basa en la integral de superficie del polígono que representa a la sección, con la adición de algún factor referente a la extensión de la dimensión "no-considerada".

### 3.2.1 Anomalía Gravimétrica

La obtención de las anomalías sigue el siguiente proceso teórico Cuando todas las correcciones han sido aplicadas a las lecturas de la gravedad observada, se obtiene el valor de la anomalía de Bouguer para la estación, así:

$$gB = gobs \pm \Delta gL \pm \Delta gAL \pm \Delta gB \pm \Delta gT$$

Donde:

$gobs$  = lectura de la gravedad corregida. ( $gobs = g_{leida} \pm \text{corrección por deriva}$ )

$\Delta gL$  = corrección por latitud.

$\Delta gAL$  = corrección por aire libre

$\Delta gB$  = corrección de Bouguer

$\Delta gT$  = corrección por terreno

$gB$  = anomalía de Bouguer.

### Anomalías Gravimétricas según Densidad de las Rocas

La gama de densidad para todos los tipos de roca (ígneo, metamórfico, y sedimentario) es típicamente 1.60-3.20 G/cm<sup>3</sup>. Los valores de densidad de rocas sedimentarias típicamente se extienden de 1.80 a 2.80 g/cm<sup>3</sup>. (Tabla 04) Así, las pequeñas variaciones de densidad en rocas sedimentarias pueden ser invisibles el método. Un error del 5-10 % en la estimación de la densidad sub superficial de la gravedad es bastante común. Esto es en contraste con datos magnéticos, donde típicamente hay variaciones de magnitud en susceptibilidad.



Materia Type	Density Range (gm/cm <sup>3</sup> )	Average Density (gm/cm <sup>3</sup> )
<b>SEDIMENTARY ROCKS</b>		
Alluvium	1.96-2.00	1.98
Clay	1.63-2.60	2.21
Gravel	1.96-2.00	2.00
Loess	1.70-2.40	1.64
Silt	1.80-2.20	1.93
Soil	1.20-2.40	1.92
Sand	1.70-2.30	2.00
Sandston	1.61-2.76	2.35
Shale	1.77-3.20	2.40
Limestone	1.93-2.90	2.55
Dolomite	2.28-2.90	2.70
Chalk	1.53-2.60	2.01
Halite	2.10-2.60	2.22
Gypsum	2.30-2.80	2.50
Quartzite	2.60-2.80	2.70
Peridotite	3.10-3.40	3.20
<b>IGNEOUS ROCK</b>		
Rhyolite	2.35-2.70	2.52
Granite	2.50-2.81	2.64
Andesite	2.40-2.80	2.61
Syenite	2.60-2.95	2.77
Basalt	2.60-3.30	2.99
Gabbro	2.70-3.75	3.03
Diorite	2.80-3.00	2.90
<b>METAMORPHYC ROCKS</b>		
Shist	2.39-2.90	2.64
Gneiss	2.59-3.00	2.80
Phylite	2.68-2.80	2.74
Slate	2.70-2.90	2.79
Granulite	2.52-2.73	2.65
Amphibolite	2.90-3.04	2.96
Eclogite	3.20-3.54	3.30
Mica schist	2.50 - 2.90	2.70

Tabla 4, *Densidad según tipo de roca*

La interpretación de los datos gravimétricos produce una gama de respuestas. Cuanto mejor es el contraste de la geológica y geofísica, mejor es la interpretación. Una interpretación completamente sin restricciones produce varias respuestas aceptables que todos puedan producir la anomalía idénticos. Aunque a menudo es fácil de descartar ciertos tipos de interpretaciones como geológicamente no razonables, lo mejor es comenzar con las contraste de una buena o razonable para poner a prueba las preguntas geológicas

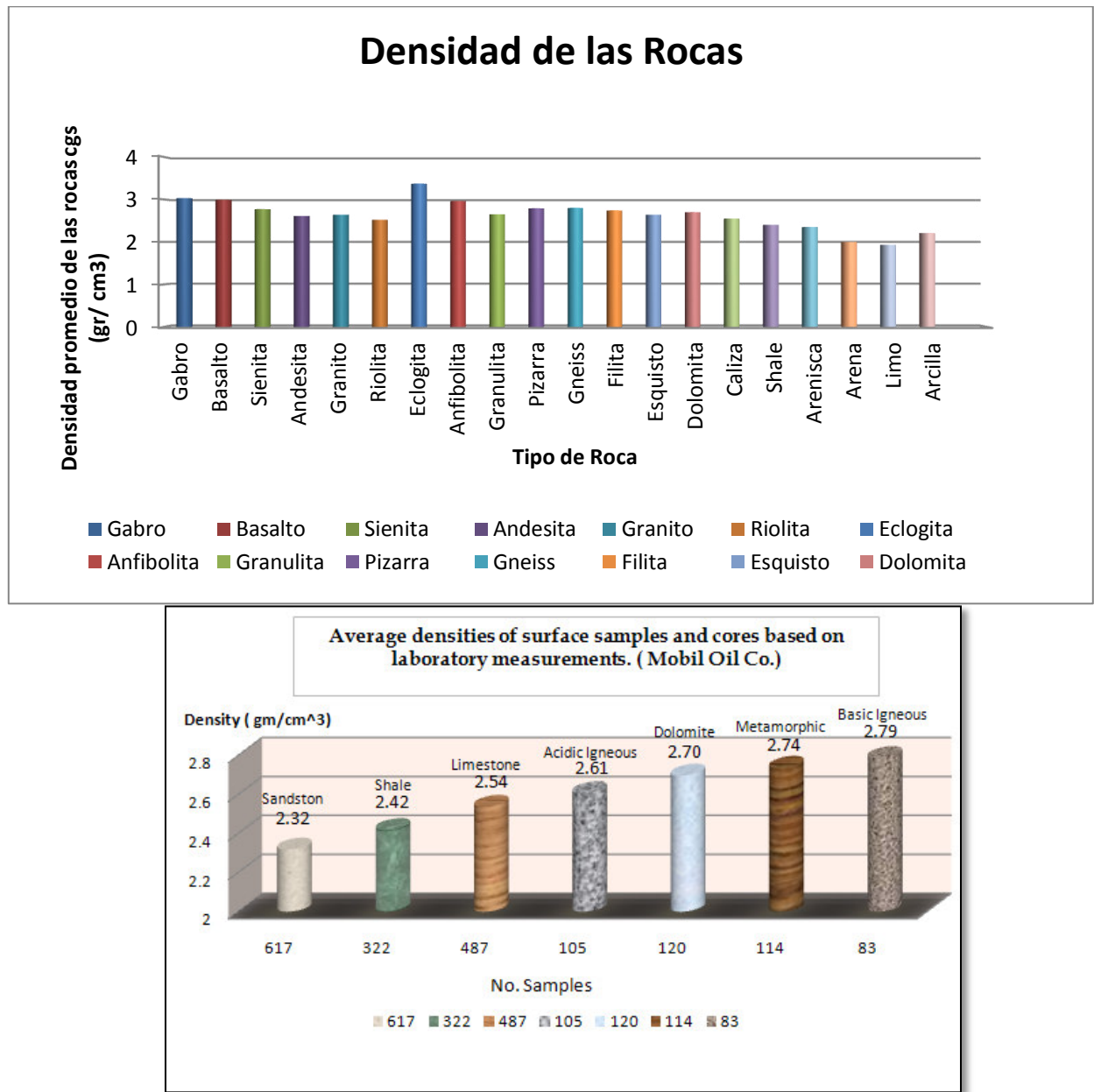


Figura 3.3, *Densidad Promedio de las rocas* (Tomado de Telford et al., 1990; en Reynolds, 1998)

Para fines de interpretación es importante determinar que la densidad de las rocas depende principalmente de la composición mineral y de la porosidad de la misma, de acuerdo a esto las rocas sedimentarias son menos densas que las rocas ígneas y metamórficas. La densidad de las rocas sedimentarias se debe a las variaciones en la porosidad, aunque también depende de la profundidad a la que se encuentran y la carga litostática sobre estas, ya que a mayor profundidad, las rocas porosas se compactan e incrementan su densidad. En las rocas ígneas, la densidad es una función del fracturamiento, las rocas volcánicas,





particularmente lavas pueden tener alta porosidad, y por lo tanto baja densidad. Por otra parte, las rocas ígneas básicas son más densas que las ácidas.

En las rocas metamórficas, la densidad usualmente se incrementa con el grado de metamorfismo, porque este proceso tiende a llenar los espacios porales y recrystalizar a la roca a una forma generalmente más densa; de tal manera que sedimentos metamórficos tales como mármol, pizarra y cuarcita son generalmente más densos que la roca original, caliza, arcilla y arenisca respectivamente. Lo mismo ocurre con las rocas ígneas, gneis vs granito, anfibolita vs basalto. En estudios gravimétricos lo que generalmente se mide es la variación lateral de la densidad de las rocas.

Las anomalías gravimétricas resultan de la diferencia de densidad entre los cuerpos de roca y sus alrededores. Si un cuerpo de densidad  $\rho_1$  se encuentra dentro de un material de densidad  $\rho_2$ , entonces el contraste de densidad está dado por:  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$ . La densidad medida es de manera lateral.

La densidad de las rocas en capas horizontales y con contrastes grandes de densidad, no producen anomalías gravimétricas, pero si se tiene capas de roca con diferentes densidades pero deformadas, entonces se tendrá una anomalía.

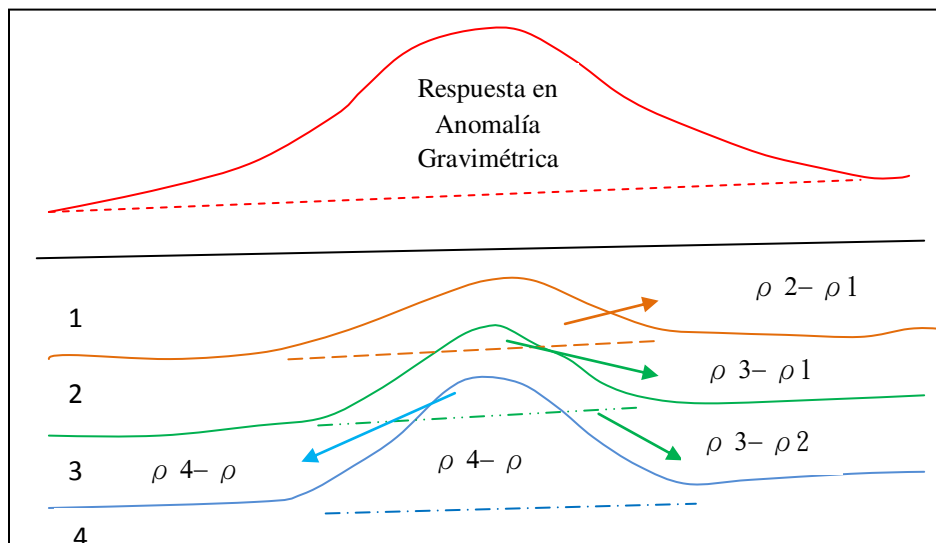


Figura 3.4 Esquema de Capas de diferente densidad y respuesta en anomalía gravimétrica.  
Según la profundidad

Como se observa en la figura la anomalía se presenta en la parte central, y en los flancos no se observa Variación alguna debido a la forma plana de las capas. La elevación central produce un contraste de densidades, es decir, la capa dos es elevada dentro de la zona de la capa uno, esto produce un contraste de densidad positivo porque cada capa es de densidad sucesivamente más grande. El contraste de densidad se



puede producir por un cambio de facies generalmente en rocas sedimentarias, aunque a veces estos cambios pueden ser difusos ya que ocurren sobre distancias horizontales

### 3.2.2 Efecto de la Densidad en la respuesta gravimétrica

La amplitud de una anomalía de la gravedad tiene una relación lineal con la densidad. Densidad positiva contrastes producen altos gravedad, contrasta la densidad negativa producir bajas gravedad. la longitud de onda de la anomalía no se ve afectada por las diferencias en la densidad. La siguiente figura muestra las respuestas de diferente gravedad a un cuerpo con diferentes contrastes de densidad positiva. En la mitad superior del diagrama son las respuestas de la gravedad. La mitad inferior del diagrama es una sección transversal. Los valores de las diferentes densidades están escritos junto a la respuesta a la gravedad en la parte superior de la figura.

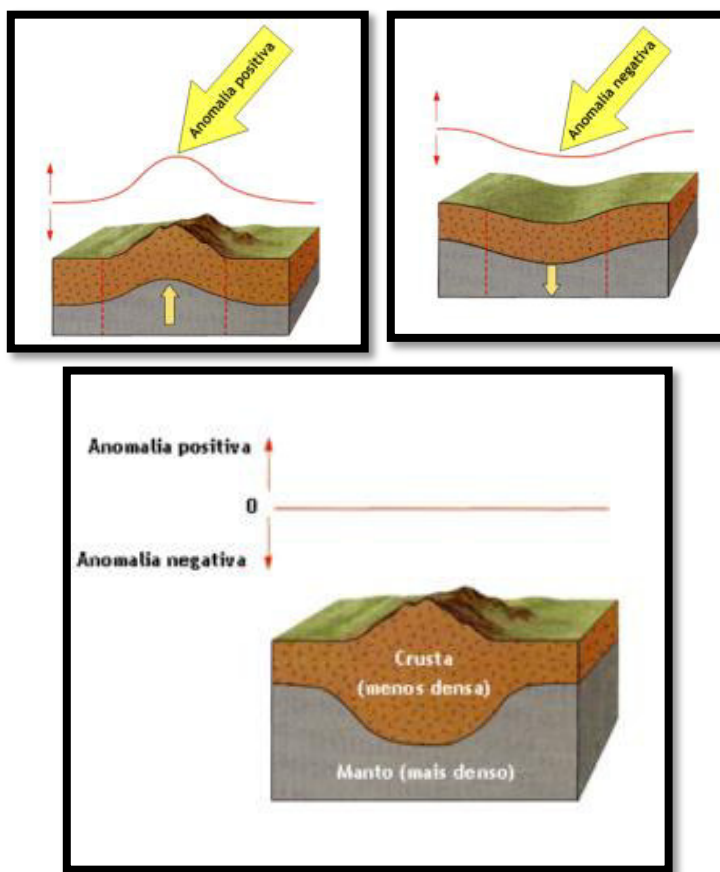


Figura 3.5, Efecto de la topografía en la respuesta gravimétrica



### 3.2.3 Efecto de la profundidad

La amplitud de la señal de gravedad varía en función de  $1/\text{profundidad}^2$  de la fuente, la figura siguiente muestra la respuesta de la gravedad en tres cuerpos enterrados de diferentes densidades con contraste positivo a profundidades diferentes.

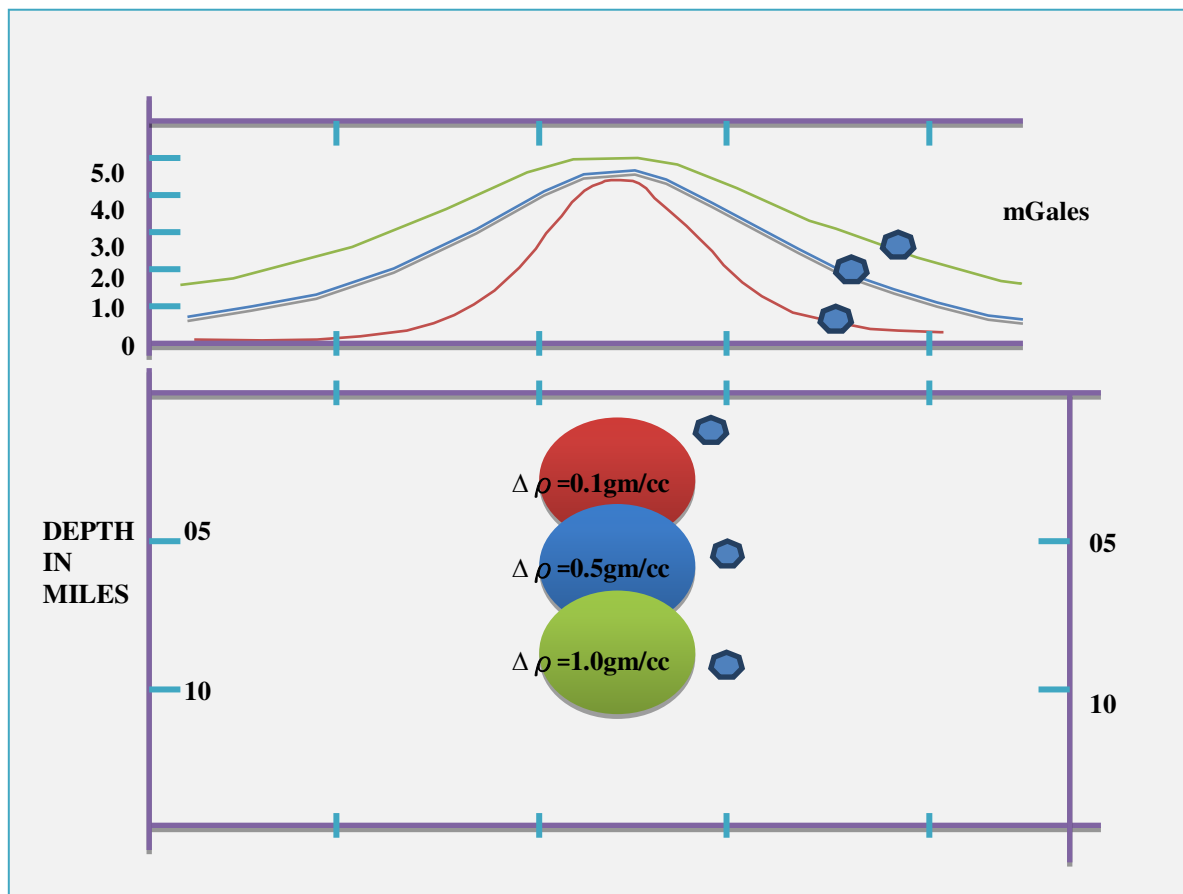


Figura 3.6, Efecto de la profundidad en la respuesta gravimétrica

### 3.2.4 Efecto del Tamaño

La respuesta de la gravedad se relaciona directamente con la cantidad de masa anómala. Las diferencias de tamaño en tres dimensiones son funciones  $X^3$ . La siguiente figura muestra la respuesta de la gravedad en dos cuerpos de igual densidad y aproximadamente a la misma profundidad y que son de diferentes tamaño.

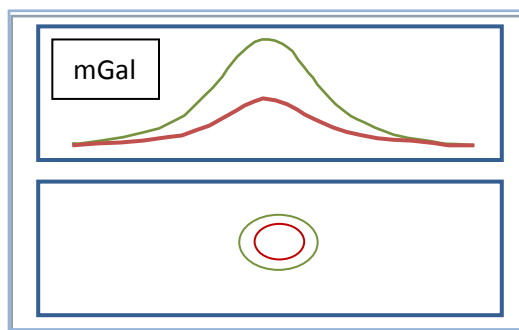


Figura 3.7, Efecto del Tamaño



### 3.2.5 Interpretación De Las Anomalías Gravimétricas

La interpretación de anomalías de campos potenciales (gravimétrico, magnético y eléctrico) es ambigua. Es decir que pueden ser causadas por un infinito número posible de fuentes. Por ejemplo, esferas concéntricas de masa constante pero diferentes densidades y radios producirán la misma anomalía, puesto que la atracción de la masa actúa como si estuviera localizada en el centro de las esferas. Las anomalías detectadas por este método están originadas en la contribución de diferentes fuentes o masas, tanto superficiales como profundas, incluso a considerables distancias de la zona de trabajo. Esto obviamente enmascara la fuente anómala particular que se busca, esa ambigüedad representa el problema inverso, una tarea muy importante en la interpretación será reducir a un mínimo la ambigüedad, utilizando todo tipo de información disponible, fundamentalmente la geológica obtenida de afloramientos, pozos, minas o de otras técnicas geofísicas.

Las anomalía de Bouguer son representados en mapas, en las que están situadas todas las estaciones gravimétricas estos mapas son la base de la interpretación.

las anomalías son causadas por cambios de densidad en el terreno de forma horizontal las medidas de la gravedad no son sensibles a las variaciones de densidad verticales en tanto que sean a lo largo de capas de espesor constante; en la gravedad. Son precisamente estas variaciones laterales las que aparecen en los mapas gravimétricos; por lo que cualquier condición geológica que produzca una variación horizontal en la densidad también producirá un cambio horizontal, una anomalía gravimétrica.

El mapa de Bouguer muestra la suma de todos los efectos debido a todas las masas presentes tanto en profundidad como en superficie; cuanto más se profundice la fuente de una anomalía, esta llega a ser más ancha y su amplitud disminuye, la suavidad (longitud de onda aparente) es directamente proporcional a la profundidad de los cambios laterales de densidad. De esta manera, la extensión horizontal y la suavidad de una anomalía son usadas para calcular la profundidad de la masa anómala; estas propiedades se pueden usar para separar la masa anómala que se encuentra en la zona de interés, de los efectos de masas superficiales y más profundas. Dado que lo que interesa resaltar es el efecto debido a la masa superficial, se elimina o reduce el correspondiente a la masa profunda. Por esto se define como Anomalía Regional al efecto de todo aquello que no interesa prospectar. Cantos, 1974. Los procedimientos para separar estos efectos son: 1. Cálculo del mapa residual 2. Cálculo del mapa de segundas derivadas. Para la interpretación final, ésta será más aproximada cuanto mayor información geológica se tenga de la zona de prospección, porque ayuda a disminuir el número de parámetros en juego. Pero siempre hay que tener en cuenta que las conclusiones alcanzadas en las investigaciones gravimétricas están sujetas a posibles interpretaciones, puesto que se determinan observando ciertas condiciones, cuya veracidad se supone. Estas limitaciones se aplican basándose en el análisis de todo el material geológico geofísico de la región investigada.



el mapa de anomalías de Bouguer se puede considerar como la suma de otros dos: 1. El mapa regional, debido al efecto de masas profundas y lejanas, (generalmente basamento) 2. El mapa residual debido a efectos de masas superficiales (estratos geológicos más pesados o masas más o menos densas que las rocas circundantes). La anomalía residual está dada por: Anomalía residual

$$(R) = \text{Anomalía de Bouguer (AB)} - \text{Anomalía regional (AR)}$$

### 3.2.6 Anomalía Regional y Residual

Las grandes estructuras producen anomalías de Bouguer que se caracterizan por ser ondas amplias y suaves, llamadas Tendencia Regional relacionadas mas a basamento por su efecto o simplemente Anomalía Regional. Sobre esta puede estar superpuesta una anomalía local de extensión limitada y menor longitud de onda llamada Anomalía Residual o Local. Generalmente el interés de la interpretación está en estas anomalías locales o residuales, para lo que debe eliminarse primero el efecto regional.

Existen métodos gráficos de suavizado de curvas y de ajuste de tendencias y filtros. Estos procedimientos deben utilizarse con mucho cuidado pues son soluciones analíticas que nada tienen que ver con la Geología.

Entonces, antes de la interpretación debe resolverse primero la separación Regional/Residual, que pasa a ser fundamental para evitar la generación de anomalías residuales ficticias. Para ello el objetivo de la prospección gravimétrica debe estar claramente establecido incluso antes de iniciar la medición, pues de ello dependerá la densidad de estaciones y su precisión, que tendrá una incidencia directa en la separación de las anomalías de interés. Es de destacar que no debe intentarse una interpretación gravimétrica si no se cuenta con información geológica adecuada, o algún dato proveniente de otro método geofísico.

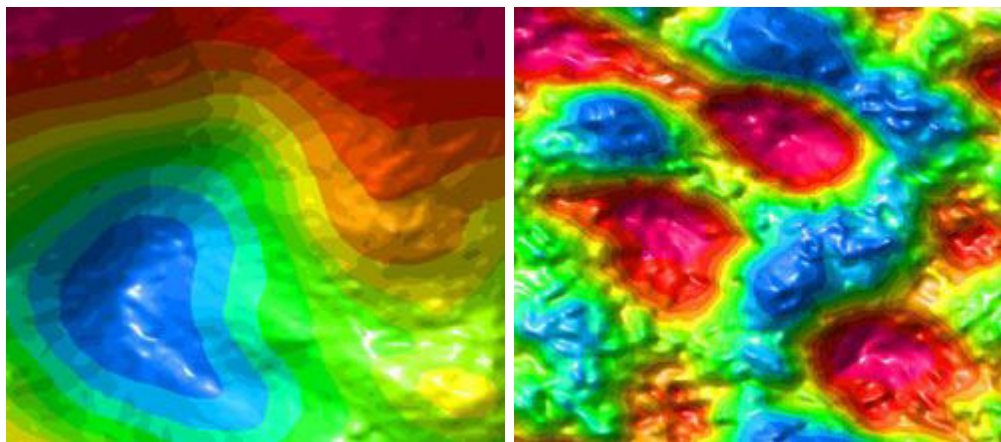


Figura 3.8, *Anomalías Gravimétrica Regional y Anomalías Gravimétricas Residual*



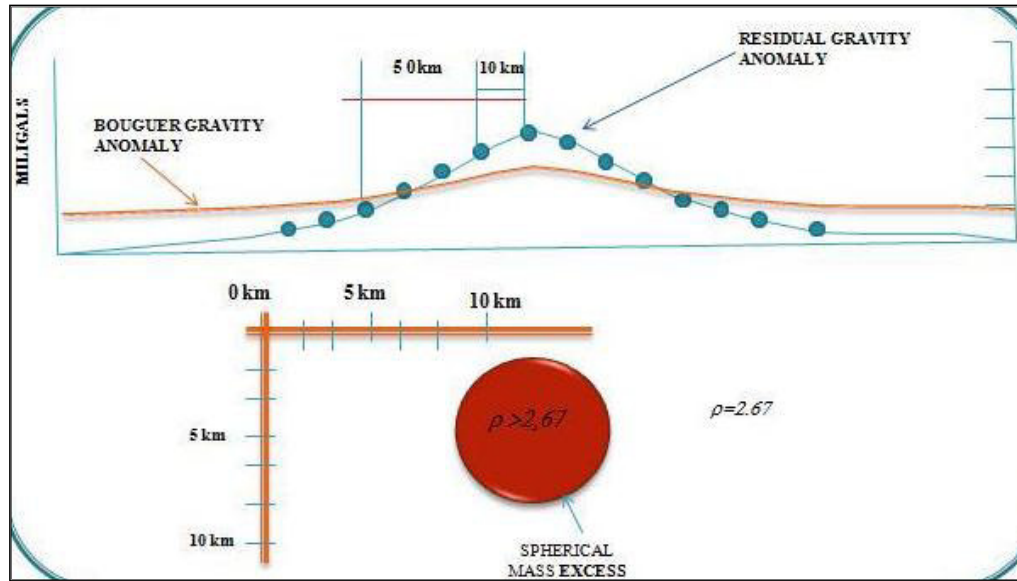


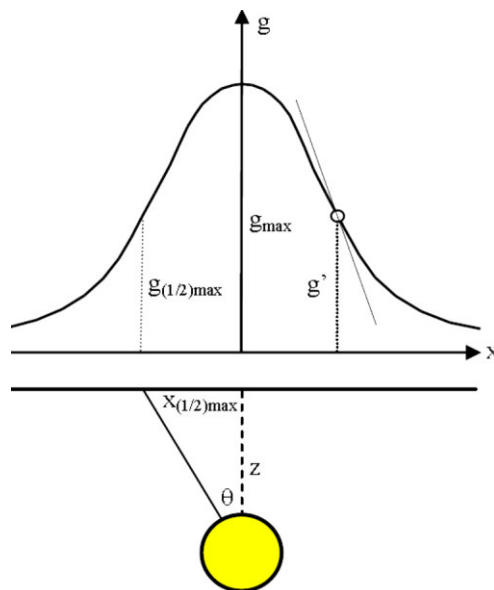
Figura 3.9, Esquema de las residuales gravimétricas según profundidad y distancia

### 3.2.7 Determinación de la profundidad.

La profundidad es posible estimarla utilizando la forma de la anomalía de un cuerpo. Método del ancho medio: El ancho medio de una anomalía es la distancia horizontal de la anomalía máxima al punto al cual la anomalía se reduce a la mitad de este valor máximo. Este método puede ser utilizado también en el cálculo de la profundidad para anomalías magnéticas. Según la ecuación, dada para un cuerpo de bidimensional.

$$z = \frac{x_2^1}{\sqrt[3]{\sqrt{4} - 1}}$$

$$z \cong 1.35 * x_2^1$$



$$\Delta a = G.m.z/r_3$$

Figura 3.10, Cálculo de la profundidad, (a) método del ancho medio.



### Método de suavización de curvas

Es un método gráfico que consiste en suavizar o aplanar, con criterio, las curvas isoanómalas de Bouguer., estas nuevas curvas obtenidas son consecuencia de la anomalía regional. Serán curvas más o menos paralelas, lo que indica un efecto gradual de atracción. Luego se restan las curvas, que es lo mismo que encontrar los puntos de cruce a un mismo valor y luego unirlos. En la figura de la derecha se ve que los puntos de cruce con valores de 0.2, 0.4 y 0.6 miligales de diferencia permiten construir nuevas curvas isoanómalas, las que representan solo la anomalía residual. De este plano se traza un perfil en la dirección de mayor cambio, a los efectos de interpretar el cuerpo que causa esta anomalía. También se puede suavizar un perfil. La resta de la anomalía de Bouguer menos la curva suavizada permite obtener la anomalía residual

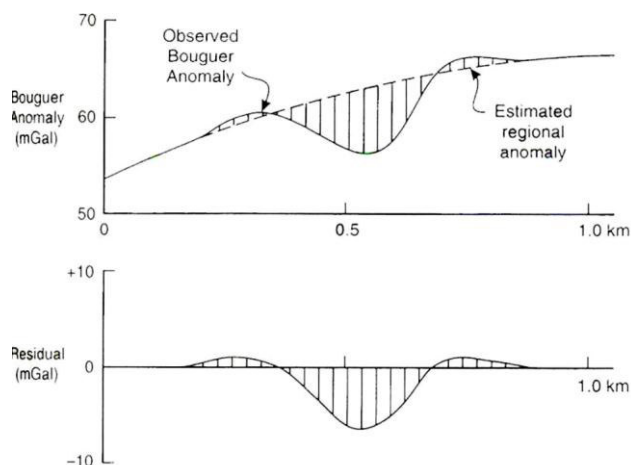


Figura 3.11, Comparación de líneas de tendencia en una anomalía gravimétrica y su respectiva residual

Las Superficies de Tendencia Son superficies matemáticas definidas por funciones obtenidas por mínimos cuadrados. Suelen ser de diferentes ordenes: El 1° es un plano, el 2° un paraboloide, etc., pero nunca mayor de 4° orden. Se usan para definir la tendencia regional. Al ser puramente matemáticas, no tienen en cuenta la geología y pueden llevar a interpretaciones erróneas.

### 3.3 Fundamentos De La Magnetometría

El magnetismo se considera un caso de la naturaleza diferente a la gravimetría y más complicado, porque los dipolos magnéticos son vectores que tienen dirección y sentido, este estado magnético requiere mucho más que solo una magnitud y además tiene dependencia de la variación diurna del campo magnético. El método magnético busca anomalías causadas por el cambio de las propiedades magnéticas de las rocas. Siendo las rocas ígneas y metamórficas las que presentan efectos magnéticos similares.



Este método es uno de los más antiguos y el más ampliamente usado. El estudio magnético tiene un rango general de aplicaciones en pequeñas escalas ingenieriles o estudios arqueológicos (detectar objetos metálicos) y escalas regionales para investigar estructuras geológicas regionales.

### 3.3.1 Magnetismo de rocas y minerales

Comúnmente las rocas poseen baja susceptibilidad magnética, las propiedades magnéticas de las rocas se debe al contenido de minerales magnéticos, los principales minerales que producen esta magnetización y las anomalías magnéticas son la magnetita y la pirrotina. Las rocas básicas y ultrabásicas tienen altas susceptibilidades, las rocas ígneas ácidas tienen valores intermedios debido a que el contenido de magnetita tiende a disminuir con el aumento de la acidez; las rocas metamórficas tienen una susceptibilidad intermedia pero también depende de la composición de la roca original (protolito); las rocas sedimentarias son relativamente no magnéticas, a menos que contengan una significativa cantidad de magnetita en su fracción mineral

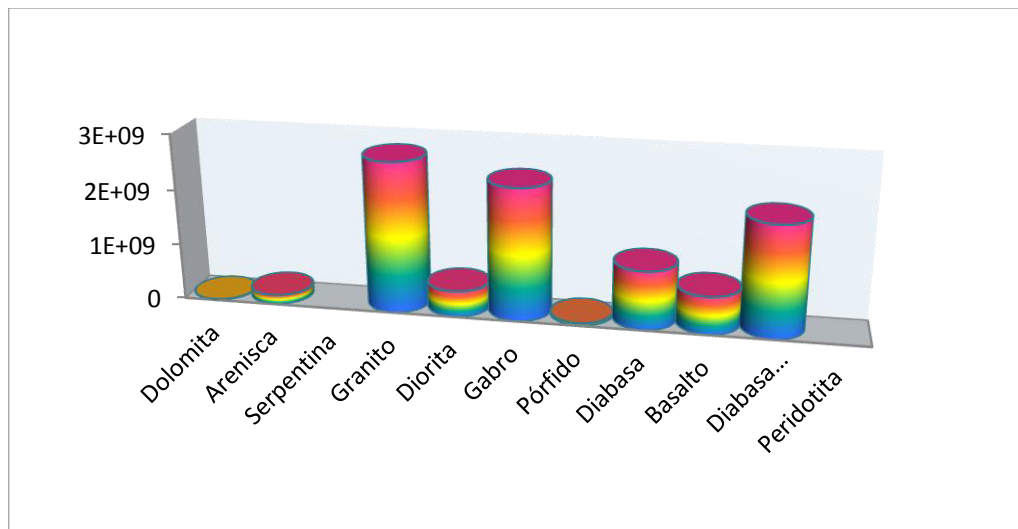


Figura 3.12, *Susceptibilidad magnética según tipo de roca*

Las anomalías magnéticas observadas en rocas sedimentarias o sedimentos, normalmente son ocasionados por basamentos de rocas ígneas o metamórficas o por intrusiones dentro de los sedimentos. “Las anomalías magnéticas tienen un rango en amplitud de unas pocas decenas de  $nT$  en rocas metamórficas, varios cientos de  $nT$  sobre intrusiones básicas y puede llegar a una amplitud de miles  $nT$  sobre yacimientos de magnetita” Philip Kearey – 2002.



### 3.3.2 Interpretación De Las Anomalías Magnéticas

#### a) Interpretación cualitativa

Para la interpretación de las anomalías magnéticas se utiliza casi los mismos criterios y fundamentos que para las anomalías gravimétricas sus procedimientos y limitaciones son muy similares, sin embargo existen varias diferencias que incrementa la dificultad en la interpretación magnética.

#### b) Interpretación cuantitativa

El objetivo es la determinación de la profundidad del cuerpo magnético, utilizando los métodos para el cálculo de la profundidad explicados en gravimetría.

#### c) Reducción al polo

Este procedimiento ayuda mucho en la interpretación de anomalías magnéticas, desarrollado por primera vez en Francia por V. Baranov, son procesos matemáticos que se realizan sobre una malla de valores obtenidos a partir de un mapa de contornos, o por interpolación matemática proceso similar al que se aplica para dibujar contornos a partir de valores observados que no se encuentran dentro de una malla. El propósito es corregir la variación en la apariencia de una anomalía, dependiendo de su latitud magnética y de la correspondiente variación del ángulo de inclinación del vector de magnetización en el cuerpo. El resultado de esta operación produce “una anomalía de pseudo gravedad”, denominada así por Baranov,

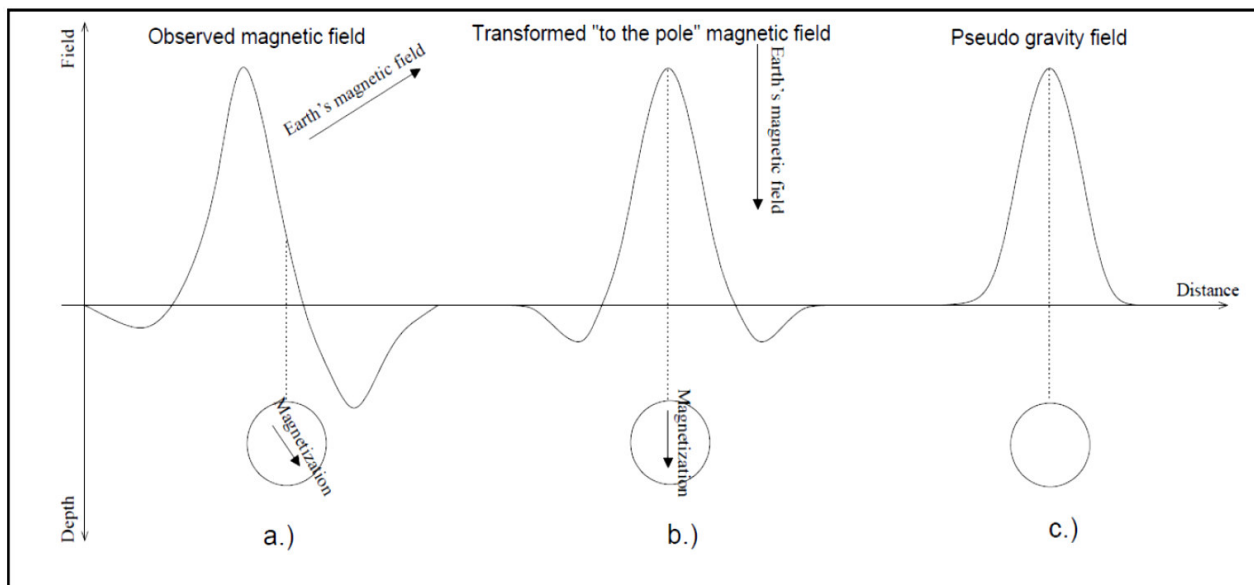


Figura 3.13, Relación del campo magnético observado (a), con la transformación al polo (b), y el campo pseudo gravimétrico del cuerpo (c).



#### d) La Reducción al Ecuador

El propósito de la reducción de la totalidad del campo a la línea ecuatorial (RTE) es transformar el mapa total del campo magnético en un mapa del campo magnético que habría resultado si esa área se había medido en el ecuador magnético ( $I = 0^\circ$ ). Esta transformación se puede utilizar como una alternativa a la RTP en latitudes bajas. Sin embargo, debemos considerar que la polaridad de la anomalía sería invertida de las personas con RTP. RTE se utiliza normalmente como una alternativa de RTP en las latitudes bajas para evitar los artefactos de computación y para interpretar los datos sin perder los elementos del terreno.

Los resultados de la prueba de evaluación en tiempo real en el área de estudio muestran que no hay mucha diferencia entre el mapa de campo magnético total y el mapa de evaluación en tiempo real, todas las características principales están presentes y sólo pequeñas diferencias se han encontrado. Ninguno de los ensayos de transformación resuelto el problema de la ubicación de baja latitud. RTP distorsión de la señal y el ruido introducido. RTE no produce ninguna mejora en los datos debido a que el área se encuentra casi en el ecuador magnético. Para la interpretación y el modelado, el mapa de campo total de anomalía magnética se prefiere a las anomalías de RTP y RTE, ya que evita los artefactos de ruido y el ordenador, y al mismo tiempo que conserva el significado de los datos geofísicos.

#### e) Relación Gravimetría y Magnetometría

La siguiente figura es un diagrama esquemático de la tierra, mostrando su campo gravitatorio (izquierda) y campo magnéticos (derecha). El campo de la gravedad siempre apunta hacia abajo, por lo que las mediciones puede ser escalar. Por el contrario, el campo magnético puede apuntar en cualquier dirección, por lo tanto, la información vectorial es más importante en la interpretación de magnetismo.

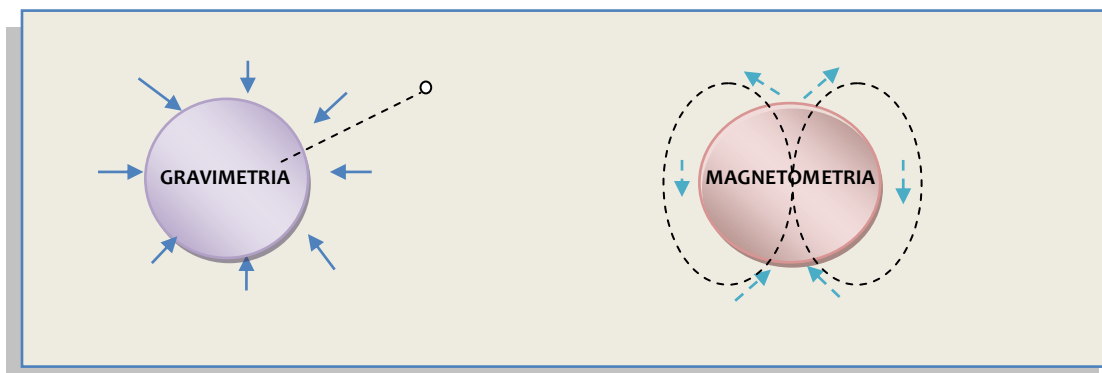


Figura 3.14, Diagrama esquemático de la tierra y su relación con la Gravimetría y Magnetometría





A diferencia de la gravimetría donde sus anomalías son positivas o negativas dependiendo de la densidad del cuerpo y el contraste con los alrededores, la anomalía magnética de un cuerpo finito pueden contener elementos positivos, negativos o los dos que surgen de la naturaleza del magnetismo dipolar. Fig.

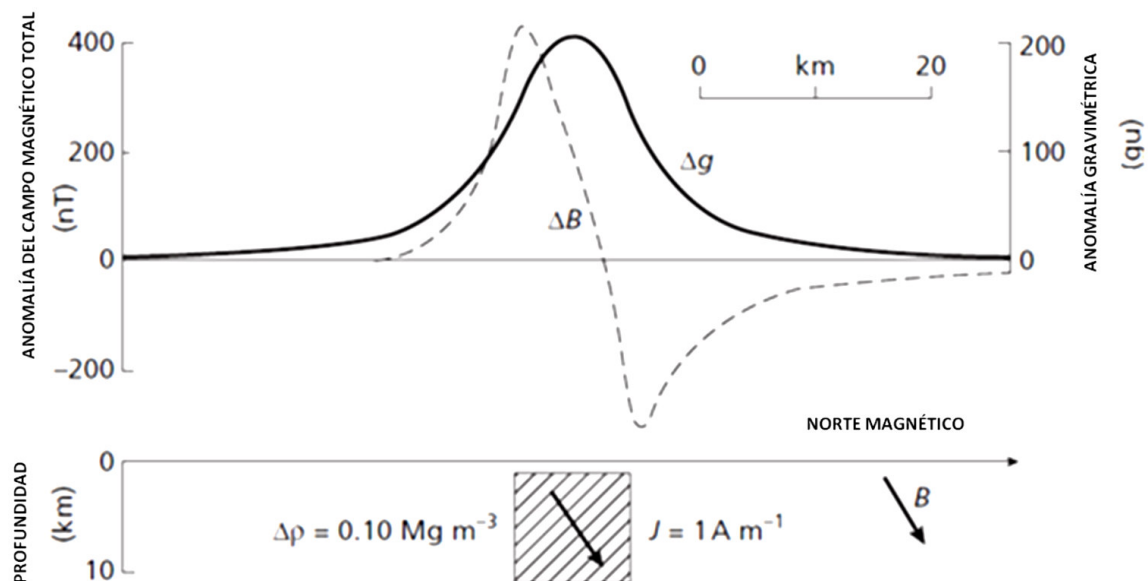


Figura 3.15, Relación de anomalías magnéticas y gravimétricas, Philip – 2002

Por lo tanto las anomalías magnéticas son menos relacionadas a la forma del cuerpo que las anomalías gravimétricas. La dirección de magnetización de un cuerpo controla la forma de la anomalía, de esta manera cuerpos de igual forma pueden dar anomalías magnéticas diferentes. La anomalía magnética es independiente de las unidades de distancia empleadas, es decir la anomalía puede estar a 3m como a 3km con las misma propiedades magnéticas.



---

## 4 CAPITULO IV ANALISIS E INTERPRETACION

### 4.1 Introducción

La interpretación es el proceso de convertir un conjunto de datos en una descripción coherente de la geología de un área. La forma de la interpretación es por lo general un conjunto de mapas, que muestran de forma gráfica, el tipo y la ubicación de las características geológicas. Las interpretaciones suelen implicar la integración de la gravedad, los datos magnéticos y topográficos con datos o información extrapolada de la costa central del Perú. Los datos utilizados para este estudio se compone de horizontes sísmicos, registros de pozos o mapas con las propiedades geológica, secciones, columnas estratigráficas, y reportes. Después de realizar la integración de todos estos datos juntos, para determinar la mejor solución de problema. En esta sección se describe el enfoque y los métodos utilizados para definir una interpretación cualitativa y cuantitativa de la Gravimetria magnetometría y datos geológicos existentes. Fueron utilizados técnicas de procesamiento estándar normalmente utilizados en la gravimetría y el procesamiento de la magnetometria los cuales fueron integrados a la geología regional del área los mapas utilizados fueron los mapas de El aire libre de la gravimetría y el mapa de anomalías de Bouguer y el mapa de anomalías magnetométricas, estos mapas fueron generados por el software GEOSOFT sistema de mapeo.

### 4.2 Interpretación de los mapas de anomalías de Bouguer anomalías magnéticas

Del análisis de datos de Gravimetría y Magnetometría se generaron los mapas de Anomalías resultado de los cambios en la densidad de las rocas subyacentes y las Anomalías y cambios en el valor del campo magnético de la tierra que se reflejan en los cambios en la magnetización de las rocas subyacentes. La magnetización puede estar expresa como una función de la susceptibilidad magnética, La susceptibilidad magnética es una constante unidimensional que es determinada por las propiedades físicas del material magnético. Estas dos propiedades: densidad de la gravedad y la susceptibilidad magnética de las rocas son a menudo de diagnóstico geológico para reconocimiento de tipos de rocas. Tomados en conjunto pueden eliminar muchas incertidumbres geológicas e imponer restricciones importantes en el modelo geológico. Tanto la gravedad y anomalías magnéticas son una función de la distancia entre el detector y la fuente (cuerpo geológico). Las Amplitudes disminuyen rápidamente con la distancia de anomalías magnéticas. En la exploración de hidrocarburos, se espera que las anomalías magnéticas para delinear el basamento cristalino y cuerpos ígneos, y las anomalías gravimétricas se obtengan con el fin de definir las estructuras dentro de las capas sedimentarias superpuestas. Es importante mencionar que Ambos métodos proporcionan un espectro de profundidad integrado de las fuentes que ellos están sintiendo, y es mediante la manipulación de estos datos en conjunto que se obtienen niveles geológicos pertinentes del presente



espectro de datos de campo potenciales que pueden ser empleados con más éxito en el búsqueda de hidrocarburos.

Los elementos principales para la interpretación de los datos gravimétricos y magnéticos son el reconocimiento del patrón y la Forma. El patrón es un potente indicador de cómo se distribuyen las rocas del subsuelo y formaciones en toda la zona de la investigación. Puede proporcionar indicaciones de "tendencias", "grano", y "discontinuidades". Estos se denominan la interpretación cualitativa". La forma de las anomalías individuales, visto en el plano perfil, se puede utilizar para determinar la forma, la posición y la magnitud de la densidad o contrastes de susceptibilidad magnética. En teoría, no es posible determinar una solución única para un campo potencial.

En general, existen una serie de geometrías que va a "encajar" la anomalía particular. En la práctica, mediante el uso de controles geológicos y geofísicos, como la grabación de la gravedad y los datos magnéticos en la misma línea, el análisis anomalía proporcionar limitaciones numéricas posibles para modelos de las fuentes de anomalías. Estos se denominan la "Interpretación Cuantitativa." Cualquier interpretación debe hacer todo lo posible para satisfacer a todos los datos geofísicos y geológicos disponibles.

Los mapas del Aire Libre y la gravedad de Bouguer muestran a lo largo de la zona de estudio claramente tres zonas distintas dominadas por anomalías de gravedad positivas. Estos máximos de gravedad se encuentran en (i) la esquina noreste de la encuesta al oeste de Chiclayo, Otra anomalía que abarca una área considerable al sur a lo largo de la cuenca Trujillo y finalmente, a lo largo de la costa en la parte sur frente a las costas entre Lima y Pisco la tercera anomalía importante regionalmente. Más adelante trataremos la investigación dividida en cuatro zonas separadas de esta manera con fines didácticos y para mostrar de una manera más clara el análisis regional de todos estos mapas de anomalías.

#### **4.2.1 Mapas de Anomalías Gravimétricas**

Los mapas del Aire Libre y la gravedad de Bouguer muestran a lo largo de la zona de estudio claramente tres zonas distintas dominadas por anomalías de gravedad positivas. Estos máximos de gravedad se encuentran en (i) la esquina noreste de la encuesta al oeste de Chiclayo, Otra anomalía que abarca una área considerable al sur a lo largo de la cuenca Trujillo y finalmente, a lo largo de la costa en la parte sur frente a las costas entre Lima y Pisco la tercera anomalía importante regionalmente. Más adelante trataremos la investigación dividida en cuatro zonas separadas de esta manera con fines didácticos y para mostrar de una manera más clara el análisis regional de todos estos mapas de anomalías.

La gravedad más resaltante de la zona 1 muestra una anomalía de 100 miligales situado en el margen sur de la Cuenca Sechura y al norte de la cuenca Trujillo. Este alto parece estar situado en el encuentro del



*Outer Shelf High* y el *Upper Slope Ridge*, Thornburg y Kulm (1981). La alta gravedad central se encuentra en la cuenca norte de Salaverry y la Cuenca del centro de Trujillo. Las Gravedades altas en las Zonas 2 y 3 que se encuentran mas al sur se encuentra a lo largo de la costa y se extiende desde el norte de Huacho al sur de Pucusana. Estas anomalías también demuestran claramente la existencia del *Outer Shelf High* y el *Upper Slope Ridge*, Thornburg y Kulm (1981). La gravedad alta es el reflejo de un alto basamento estructural Precámbrico y Paleozoico con meta-sedimentos y rocas cristalinas.

Los mapas de anomalías muestran también que entre los altos gravimétricos existen anomalías con valores muy bajos, estos están interpretados como zonas de sub-cuenca con capas gruesas de sedimentos divididos por altos estructurales a lo largo de la Plataforma exterior. Un número de estas estructuras muestran una tendencia norte Sur. Además son indentificados como fuertes anomalías tanto gravimétricas como magnetometricas las fracturas de Mendaña y Viru del cual podemos obtener parámetros importantes en la respuesta de anomalías que nos ayudaran a las identificaciones de otras diferentes estructuras de fractura y falla a lo largo de la zona de estudio.

#### 4.2.2 Mapas De Anomalías Magnéticas

La interpretación de los mapas de anomalías magnéticas delinea el total de intensidad magnética del área de prospección. Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF) en el área de estudio muestra los valores de 12,4 grados y -0.12 grados de la inclinación magnética y declinación. Si el magnetismo remanente en las rocas del basamento no ha influido en la intensidad magnética total (TMI), las anomalías serán desplazadas desde la ubicación actual del cuerpo causal. Estas anomalías luego del procesamiento se mueven y serán mostradas en los mapas de Intensidad total Magnético Reducido a la línea del Ecuador donde se posicionan sobre el cuerpo causal, estas anomalías son mostradas con valores negativos según el desplazamiento de fase polar. Figura 4.2 muestra la intensidad magnética total reducido al polo para el área de estudio.

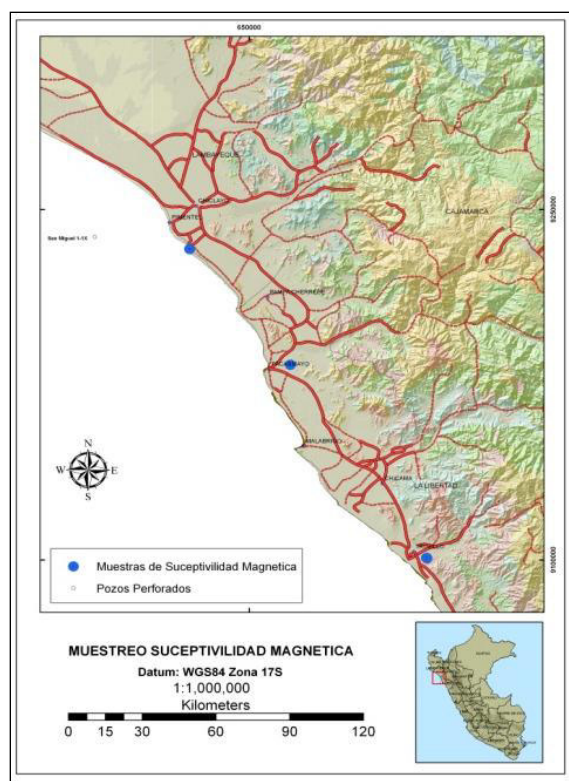


Figura 4.1, Mapa de muestreo de susceptibilidad Magnética para puntos de control



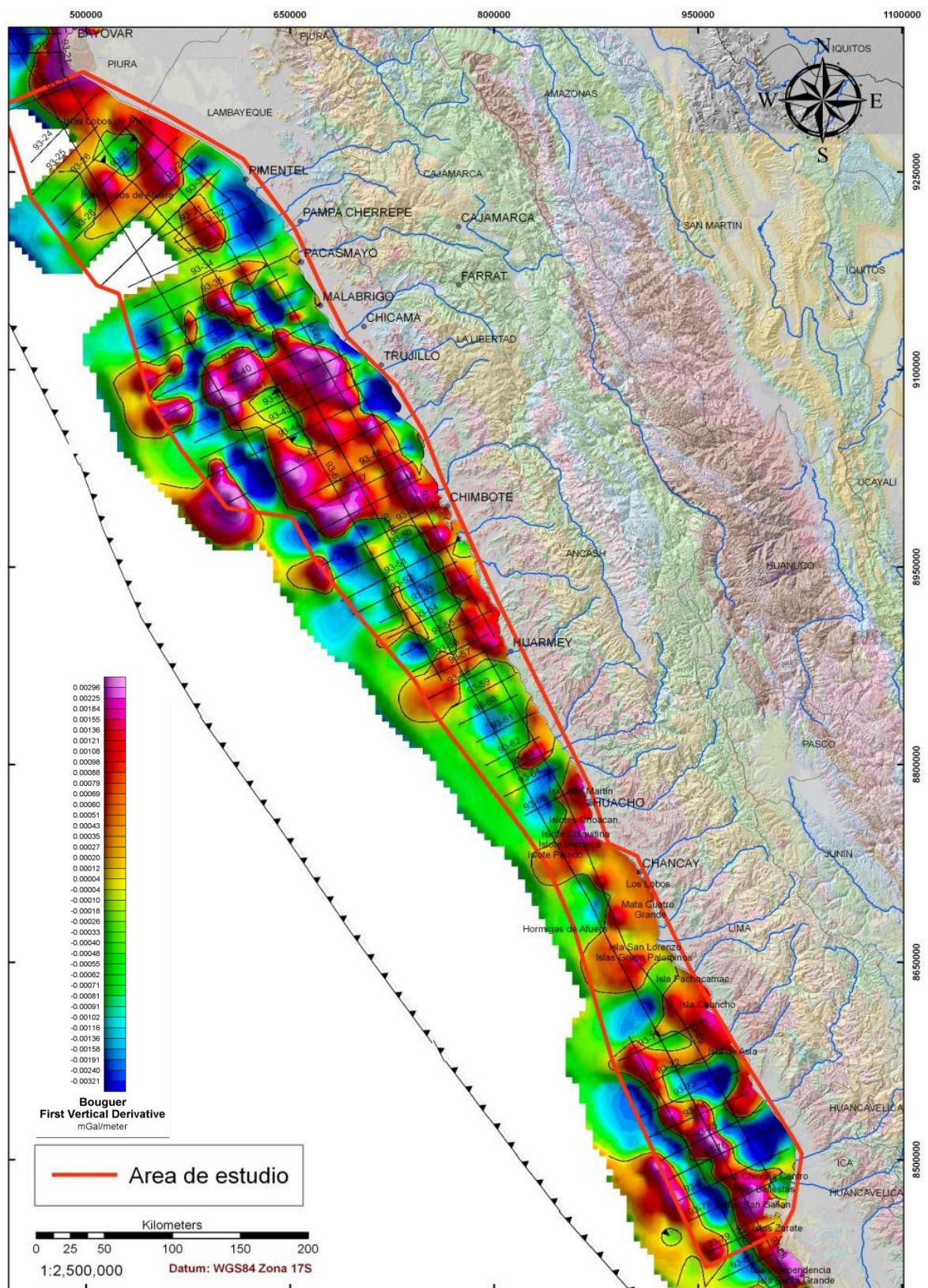


Figura 4.2, Mapa de Anomalías Gravimétricas de Bouguer, primera derivada vertical.





Debido a la baja inclinación de la IGRF magnético en el área de estudio, la intensidad magnética total reducido al Ecuador mapa (Figura 7) muestra una buena correlación con los residuales de Bouguer Mapas de gravedad. Las anomalías magnéticas muestran buena correlación con las anomalías de gravedad positiva y negativa. Las anomalías magnéticas en la zona, muestra dos características distintas. Anomalías en el oeste son más amplios y Manda baja amplitud y frecuencia, que representa una fuente más profunda. Esta es la zona donde la Placa Continental es reemplazar la Placa de Nazca Oceánica. Las anomalías cercanas a la costa son de mayor frecuencia y de mayor amplitud. Esta señal magnética de alta frecuencia es indicativa de rocas volcánicas poco profundas y generalizadas en la región. Esta zona pertenece a una continuación del arco volcánico de la costa conformado por rocas volcánicas y con el arco volcánico y el batolito en tierra.

### 4.3 Secuencia Del Procesamiento

#### 4.3.1 Separación de valores regionales y residuales

La tarea del procesamiento de datos gravimétricos está referida a la obtención de valores de gravedad de tendencia regional, de tal forma que, una vez restados a los valores de gravedad Bouguer, se obtengan valores residuales de gravedad los cuales sean imagen del comportamiento estructural del subsuelo.

Existen varias formas de separar el campo gravitacional en tendencias regionales y residuales. Se describe a continuación la secuencia de procesamiento para la obtención de tendencias regionales, mapas residuales y mapas de primera y segunda derivada vertical.

Pasos	Acción
I	Análisis de la geología offshore aledaña al área de estudio disponible, registros de pozos anteriormente perforados (Repsol, Savia, etc), datos de perfiles sísmicos transversales (Rybiana 1993) a través de las áreas críticas donde no existe mayor información para estimar profundidades.
II	Perfiles trama gravedad por encima de las secciones transversales estructurales y secciones sísmicas. Agregar perfiles magnéticos si está disponible.
III	De la geología interpretada a partir de los datos, crear secciones de gravedad del modelo. Dividir la sección en intervalos de aproximadamente la misma densidad.
IV	Se calculo un perfil de gravedad predicho. Comprobando el perfil observado contra el perfil medido. Se delimito las diferencias existentes, se ajusto el modelo de gravedad y calculo de nuevo el perfil de gravedad hasta un valor conveniente entre observado y medido es hecho.
V	Se comprobó la interpretación del mapa de gravedad, la ubicación de los posibles cuerpos intrusivos y la posición de fallas, contra los perfiles modelos y todos otros datos disponibles.

Tabla 5, Cuadro resumen de la secuencia de procesamiento

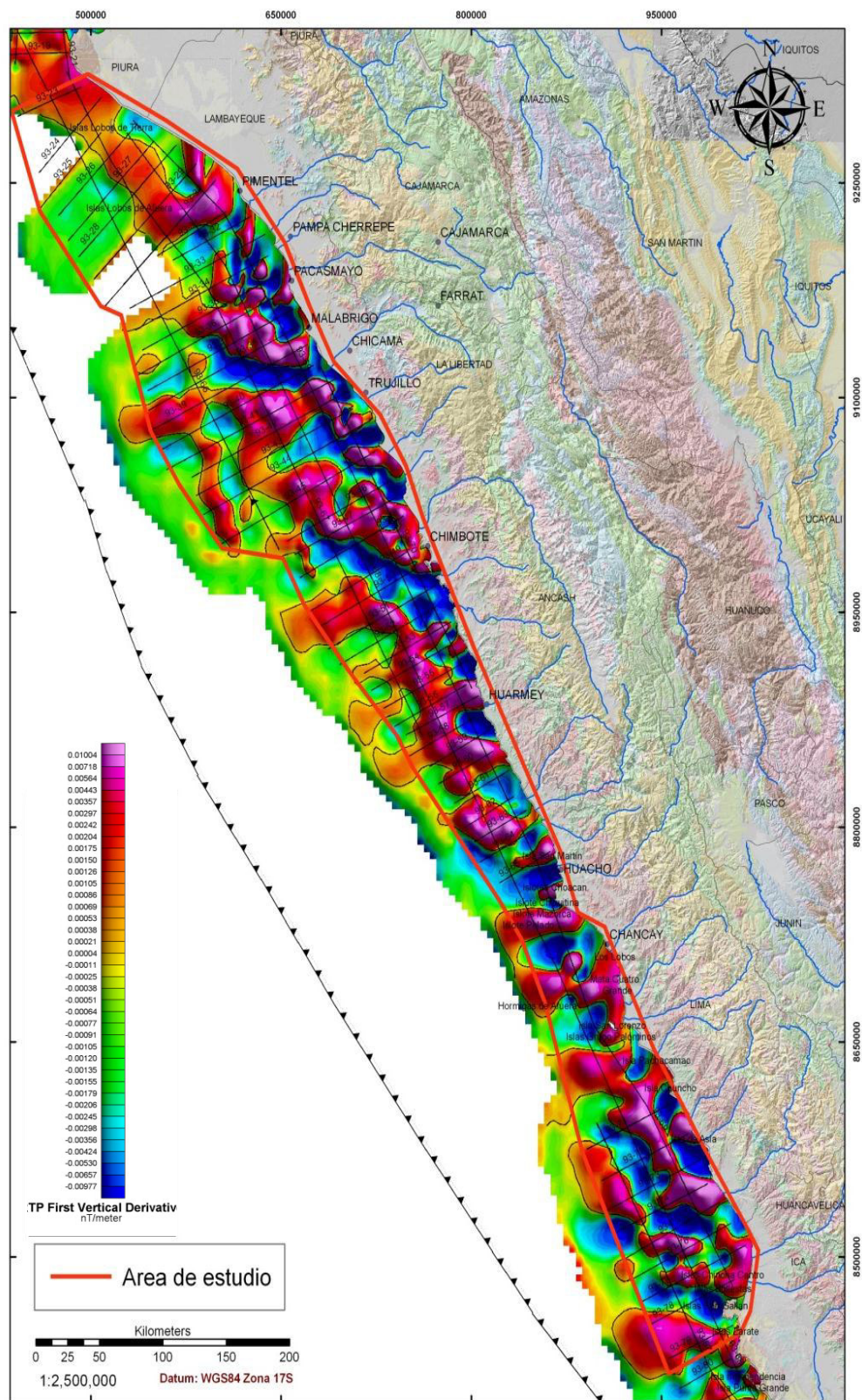


Figura 4.3, Mapa de Anomalías Magnetométricas RTP-Primera derivada Vertical



## **4.4 Correlación De La Geología Con la Magnetometría y Gravimetría**

### **4.4.1 Aspectos estructurales según las imágenes de campo potencial**

En muchos sitios en los máximos mundiales, estructurales tienen la densidad más alta y son expresados en los datos como máximos de gravedad porque rocas densas de basamento son más cercanas a la superficie. Por lo tanto, un mapa de gravedad a menudo es usado directamente como un mapa de pseudoestructura. Sin embargo, no hay una relación personalizada entre milligals y profundidad; por lo tanto, el mapa debe ser visto en un sentido cualitativo. Hay excepciones, como pozos, donde altos estructurales son bajos gravimétricos debido a que las rocas densas de basamento no están cercanas a la superficie. Estas estructuras pueden además ser de densidad inferior que las rocas circundantes.

### **4.4.2 Interpretación y Localización de Fallas**

Se desarrollado un nuevo método para la interpretación de los datos magnéticos usando los datos en base a derivados del ángulo de inclinación, proporciona una ecuación lineal simple, similar a la ecuación de Euler 3D que fueron extraídos en el mapa RTP TILT Derivative, Las fallas pueden ser identificadas a través de pendientes pronunciadas o el truncamiento de las tendencias. Las figuras 4.4 a continuación contienen dos mapas la primera que es el mapa del RTP TILT Derivative que proviene de la derivada del mapa de anomalías magnéticas ya que que son sensibles a ruidos de alto número de onda y contenido espectral de los datos. De este modo, se demuestra la utilidad práctica del método que utiliza un ejemplo de campos de Namibia, (Ahmed Salem 2007) donde los resultados del método propuesto revelan una amplia correlación con los resultados utilizando el modelado directo interactivo, este mapa fue afinado con la primera derivada de Bouguer como se hace usualmente, con el fin de identificar lineamientos, finalmente muestra la expresión de las fallas que tienden a una dirección de Este –Oeste en una serie de tendencias truncada (línea discontinuas) también indican fallas menores. La figura 4.4 muestra la ubicación real de las fallas mayores y el resultado de la interpretación.

### **4.4.3 Determinación de ejes Principales de posibles intrusivos**

Para la determinación de los posibles cuerpos intrusivos presentes en la plataforma continental peruana tomamos puntos de control disponibles cerca al área de estudio, de esta manera tenemos como punto de control y correlación tres ejes principales de cuerpos intrusivos en la zona continental más próxima al mar estos puntos de referencia son iniciando desde la zona más al norte del área de estudio el Batolito de Higuerón conformado por rocas de referencia el batolito de la costa y el arco volcánico Casma cuya dirección es NW-SE, ya que son los puntos de control más cercano a la fosa y al área de estudio.



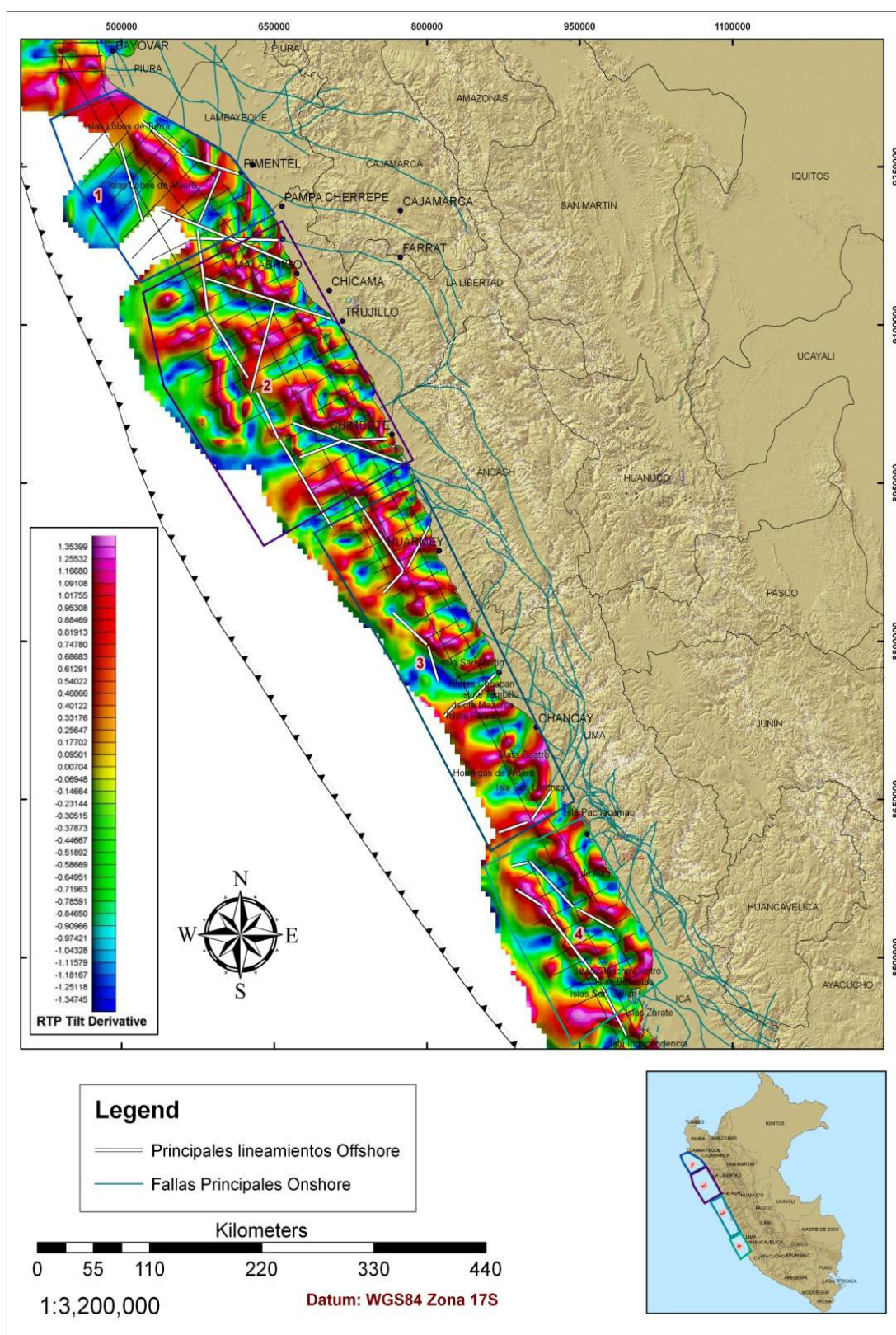


Figura 4.4, RTP *TILT Derivative*, interpretación de los principales lineamientos y fallas en el área



#### 4.4.4 Metodología Para la detección de Cuerpos intrusivos

La primera derivada vertical de una anomalía gravimétrica es proporcional a la anomalía magnética que debería observarse si el material denso fuese sustituido por material magnético, en igual proporción y si la dirección de magnetización y la del campo geomagnético local fuesen verticales dando como resultado de esto que generalmente las rocas maficas son densas y magnéticas por lo tanto podemos asociar cuerpos ígneos máficos con anomalías gravimétricas y magnetometrías de carácter positivo (Gilbert, G.K. 1913, citado en J. Alvarez 2002) Según el siguiente Algoritmo:

##### Algoritmo de Identificación

si :  $M = \text{Anomalía Magnetométrica Positiva} > 0 \text{ nT}$

$B = \text{Anomalía Gravimétrica positiva} > 0 \text{ mGals}$

Entonces:  $(MXB / 2) \times 100, 0$

Gráficamente este algoritmo se explica de la siguiente manera:

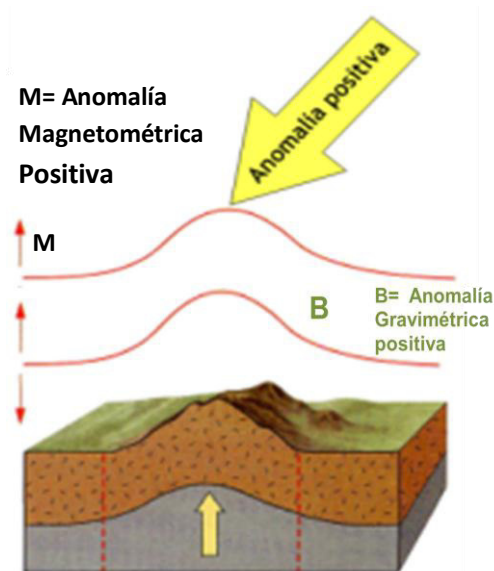


Figura 4.5, Esquema de anomalías gravimétricas y magnetométricas positivas según terreno

Según lo descrito en el fundamento se muestra en los mapas resultantes se muestra la ubicación de características de alta densidad y alta susceptibilidad. Estos mapas fueron generados mediante el uso de una técnica de separación de longitud de onda de desarrollo propio.

La gravedad de Bouguer Primera derivada vertical y la intensidad magnética total reducida al polo se utilizaron para generar residuales de paso alto. El objetivo como se ha dicho era reconocer y aislar





anomalías generadas por fuentes de alta densidad y alta susceptibilidad. Un filtro se utilizó para generarlos residuales. Los valores máximos positivos de los residuales de Bouguer y los valores máximos positivos de los datos magnéticos totales reducidos al polo se normalizan. Los valores o amplitudes en la red de gravedad normalizada son adimensionales y pueden sugerir la presencia de rocas de alta densidad. Del mismo modo los valores o amplitudes magnética normalizada también son valores adimensionales y en el polo magnético, si es Positivo, estos valores pueden sugerir la ocurrencia de rocas de susceptibilidad de alta magnéticos

Dentro de la metodología mencionamos también que se tomaron puntos de control en continente tomando en cuenta los principales cuerpos intrusivos que afloran en la costa central del Perú ,tales como el Batolito de San Nicolás para la parte más al sur , el Batolito de la Costa para la parte central del área de estudio y los intrusivos de Higueron para la parte más noroccidental. Estas zonas mayores se muestran a detalle en las figuras 16,17 y 18 descritas anteriormente a continuación de la información bibliográfica de estos principales cuerpos de intrusivos se obtuvo un rango de resultados de anomalías gravimetrías además un cuadro de densidades del Batolito de la costa, *M. A. Bussell & C. D. V. Wilson* (Tabla 06) el cual fue correlacionado son los datos procesados en mar, de la misma manera se tomaron los resultados del muestreo de susceptibilidad magnética para poder calibrar los resultados de la respuesta magnetométrica en los datos de mar, y así suprimir incertezas en la identificación de intrusivos en la plataforma continental del Perú.

La densidad de las rocas del Batolito de la costa, las densidades de muestras representativas de la región de estudio se determinaron tanto en el estado seco y saturado; teniendo como resultado:

<b>Rock unit</b>	<b>No. of</b>		
	<b>samples</b>	<b>Dry s.g.</b>	<b>Wet s.g</b>
<i>Canas monzogranite</i>	3	2.605	2.614
<i>Sayän monzogranite</i>	3	2.609	2.619
<i>Puscao granodiorite-granite</i>	10	2.64	2.654
<i>Puscao contaminated hybrids</i>	4	2.731	2.739
<i>San Jeronimo granite</i>	7	2.615	2.622
<i>La Mina tonalite</i>	3	2.748	2.757
<i>Humaya granodiorite</i>	4	2.639	2.647
<i>Santa Rosa monzogranite</i>	2	2.628	2.64
<i>Santa Rosa tonalite</i>	5	2.696	2.705
<i>Santa Rosa diorite</i>	3	2.776	2.782
<i>Paccho quartz-diorite</i>	14	2.791	2.799
<i>Patap gabbro</i>	3	2.848	2.851
<i>Casma Gp (eastern envelope)</i>	3	2.733	2.783
<i>Casma Gp (western envelope)</i>	10	2.867	2.876

*Tabla 6, Densidad del Batolito de la costa, M. A. Bussell & C. D. V. Wilson*

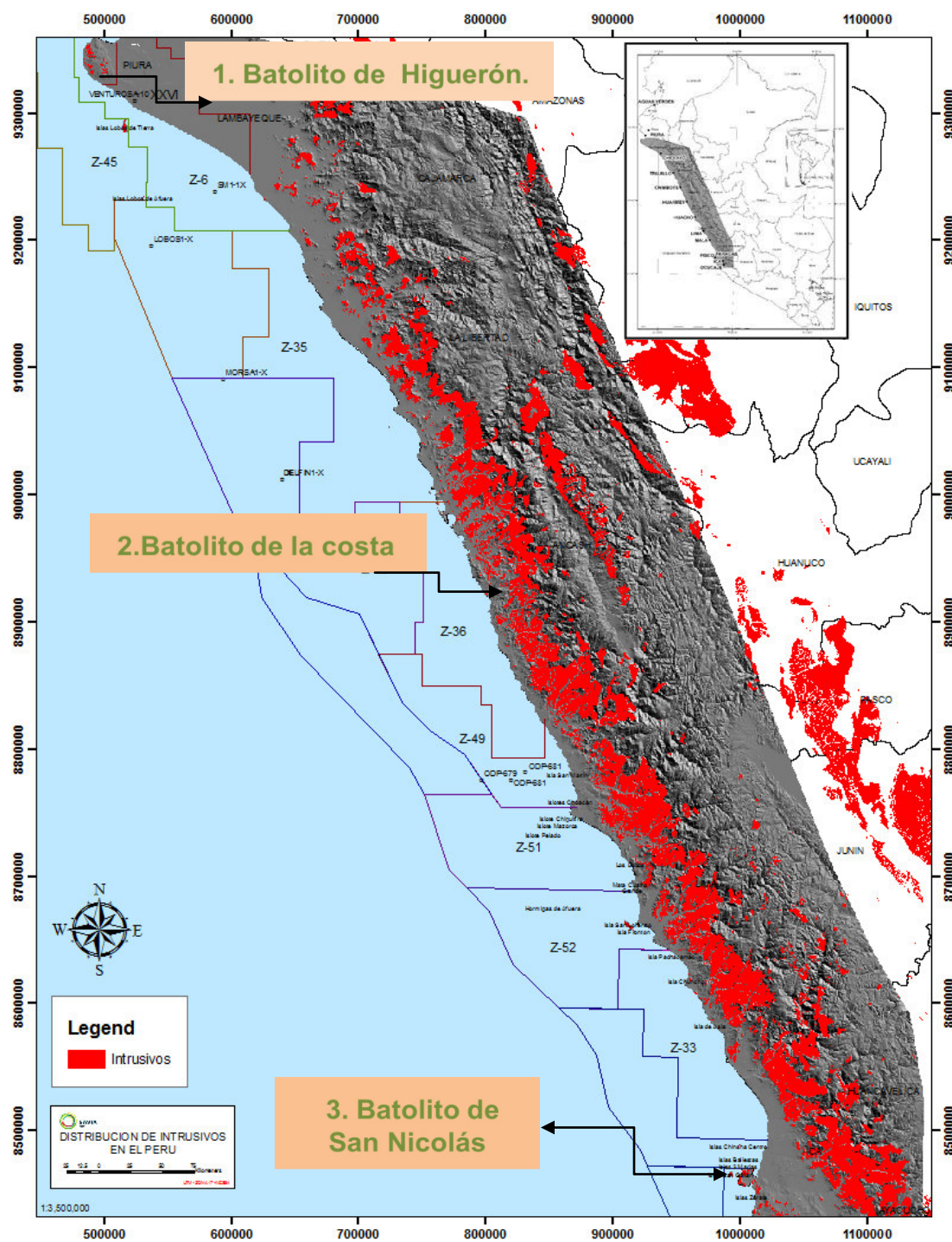


Figura 4.6, Distribución de principales cuerpos intrusivos cerca a la zona de estudio

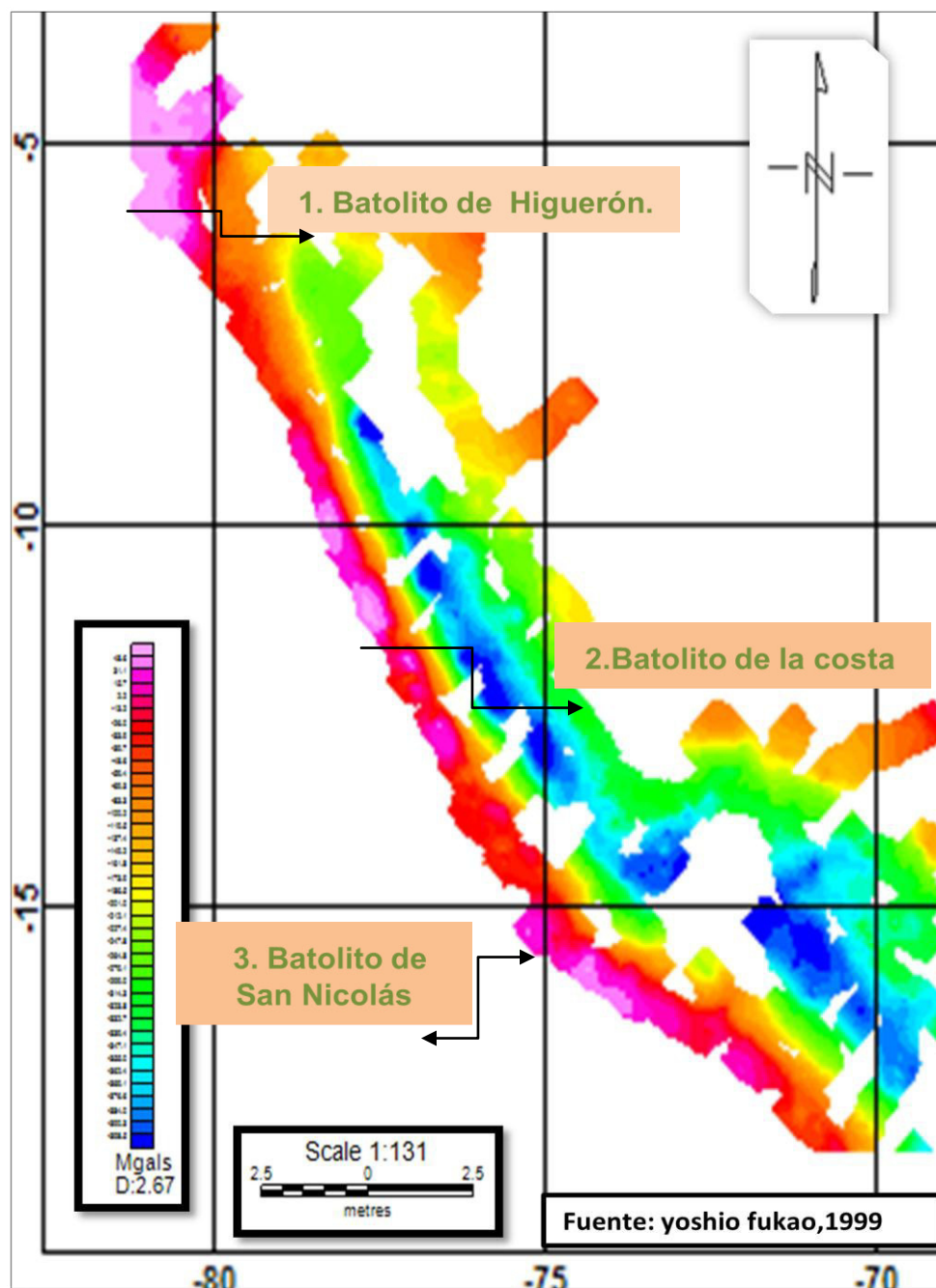


Figura 4.7, Respuesta gravimétrica de los principales cuerpos intrusivos cercanos a la zona de estudio

#### 4.4.5 Diferencia entre las anomalías magnéticas y gravimétricas en la interpretación

Con la ayuda de las anomalías podemos reconocer los diferentes tipos de rocas que existen en la plataforma marina, las rocas de basamento de la costa constituidas básicamente de rocas metamórficas Michasisto





gneiss en su mayoría, comprobadas en los pozos exploratorios de Ballena 8-x-1, Delfin 20-x-1 perforados por Occidental Oil Company en 1971 Donde se obtuvieron muestras de un basamento metamórfico de densidad muy alta pero de susceptibilidad magnética baja, según esta información se hizo el análisis diferenciando basamento metamórfico de posibles intrusiones según estas propiedades, como se muestra en la figura donde se muestra la Línea 93-41 perteneciente a la Zona 2 de estudio el cual muestra los altos gravimétricos correspondientes al OSH ya diferenciado por Kulm donde se observa una anomalía gravimétrica (mGal) alta y una anomalía Magnética (nT) baja casi nula, indicando una zona de rocas metamórficas con bajos contenido de minerales de hierro y las anomalías gravimétricas altas indicando alta densidad, además se observa una zona con anomalías gravimétricas y magnetométricas altas, lo que vendría a representar un posible cuerpo intrusivo que denominaremos P.I.

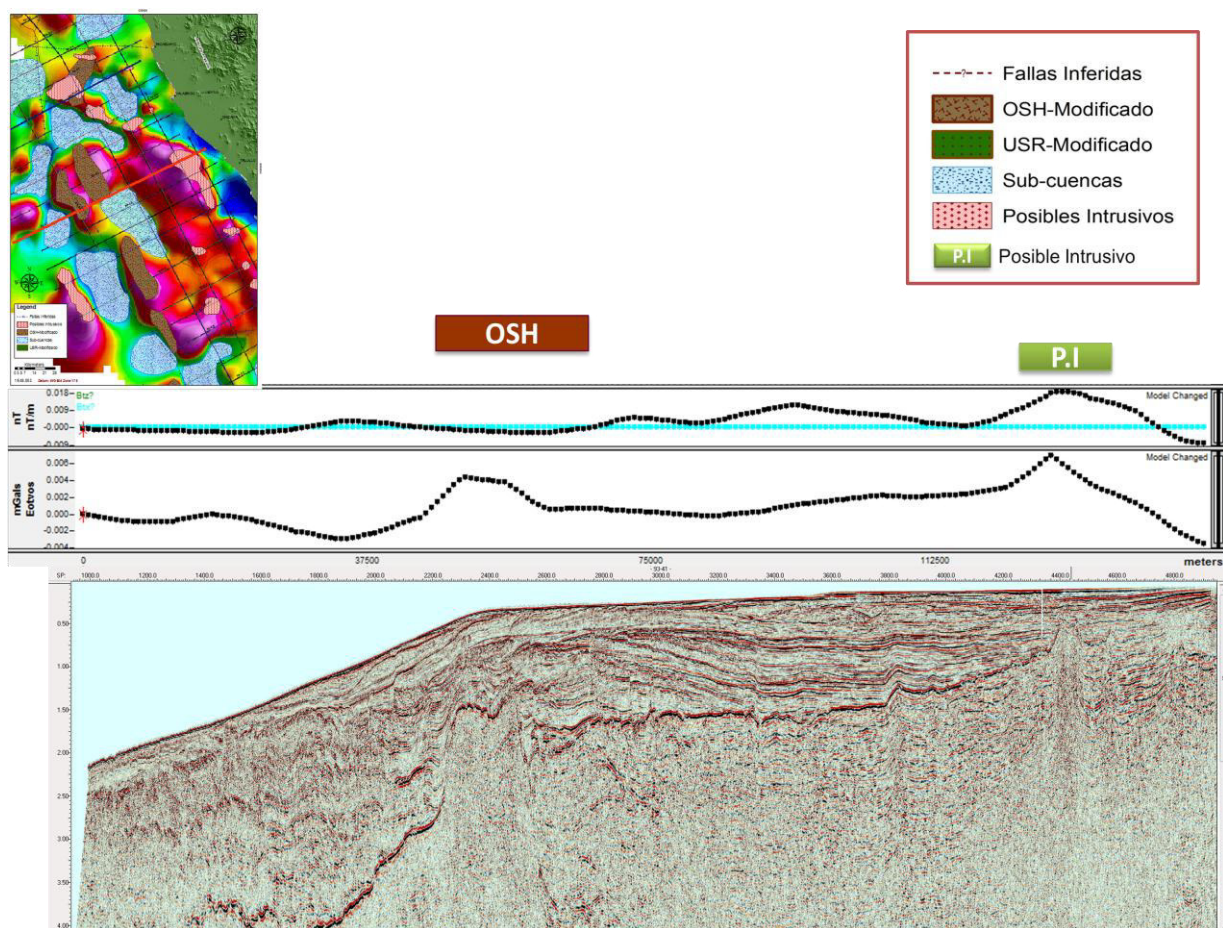


Figura 4.8, Línea 93-41, se diferencia el Outer shale high (OSH) y un posible intrusivo (P.I) del procesamiento de los datos gravimétricos y magnetométricos se observa campos potenciales magnéticos negativos con respecto a la zona de Posible intrusivo que muestra claramente anomalías positivas tanto gravimétricas como magnéticas. Que además se corroboran con la sísmica de reflexión.



#### 4.4.6 Determinación de Basamento según Anomalías

Según esta metodología y analizando principalmente las anomalías gravimétricas se definió con una ligera variación las zonas de OSH y USR según el análisis y el reprocesamiento de los datos gravimétricos proporcionados por Rybiana para este estudio obteniendo un OSH Modificado y un USR Modificado que se define como una estructura no continua, es necesario mencionar que esta modificación se realizó según los datos de Rybiana 93 por ello la parte central sur carece de información para la interpretación de principalmente del USR como muestra la figura.

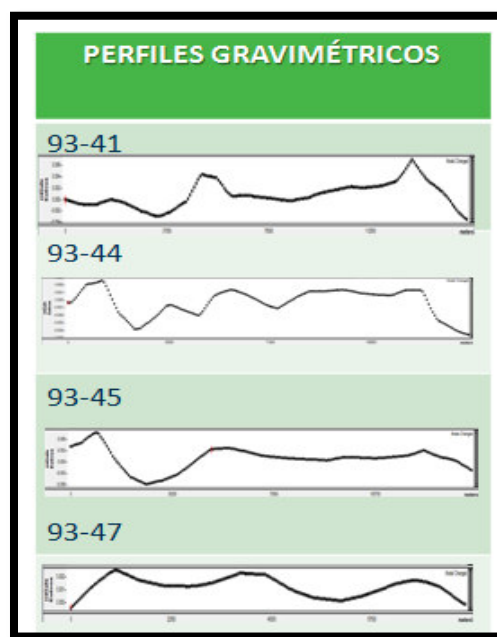
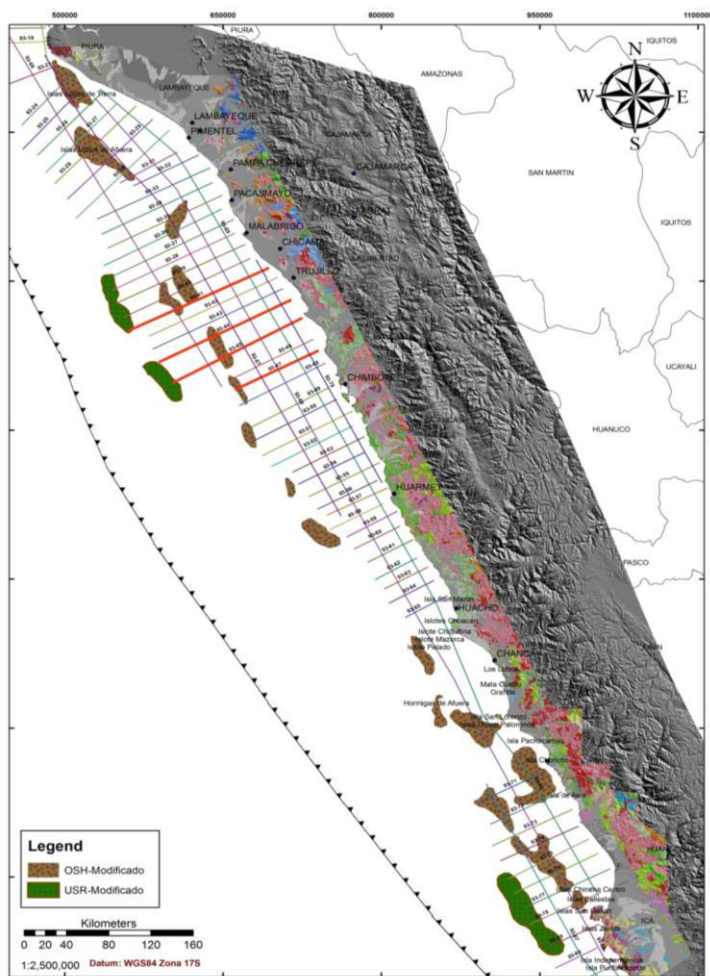


Figura 4.9 Las líneas 93-41, 93-44, 93-45, 93-47. Muestran claramente las respuestas gravimétricas para el OSH y el USR el cual se ha ligeramente modificado según el reprocesamiento de los datos utilizados





De este análisis se obtiene como resultado que el OSH no es una estructura continua ya que parte de esta estructura no posee una respuesta gravimétrica con datos de densidad alta sin embargo cabe mencionar que el análisis es solo de datos de gravimetría y necesita de otros fundamentos para poder validarse.

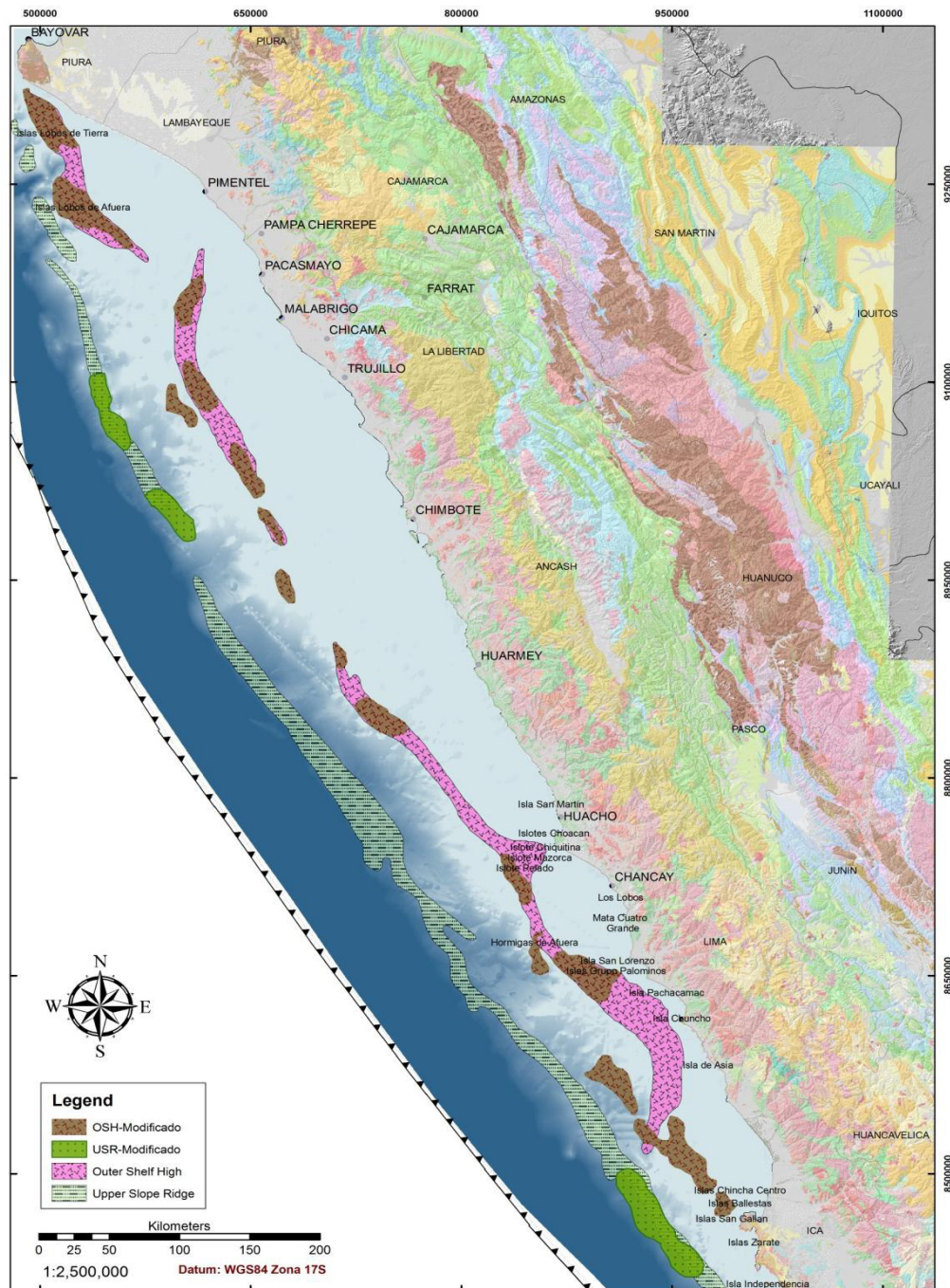


Figura 4.10, Del reprocesamiento se obtiene una distribución del OSH y el USR que se corrobora con lo definido por Thornburg, T., Kulm, L.D., en 1981



---

#### **4.5 Determinación de anomalías y zonas mayores**

Según este análisis tomando en cuenta los mapas de las primeras derivadas y tomando en cuenta sus atributos además de el fundamento ya antes mencionados de la interpretación de mapas residuales cualitativa y cuantitativamente se hizo análisis por zonas en las cuales definiremos cuales pueden ser los posibles cuerpos intrusivos y que estructuras de basamento cristalino se presentan en cada una además de algunas características geológicas posibles de interpretar con la ayuda de estos datos.

La Zona de estudio fue dividida en cuatro Zona según sus características estructurales y la similitud de valores de susceptibilidad magnetica y miligales obtenidos de los datos de Magnetometria corregidos y reducidos al polo según la primera derivada vertical y las anomalías de Bouguer según la corrección de la primera derivada Vertical, respectivamente.

- Zona 1 : Illescas –Punta Cherrepe
- Zona 2: Pacasmayo – Tortuga
- Zona 3: Puerto Casma –Lurín
- Zona 4: Pucusana- Paracas

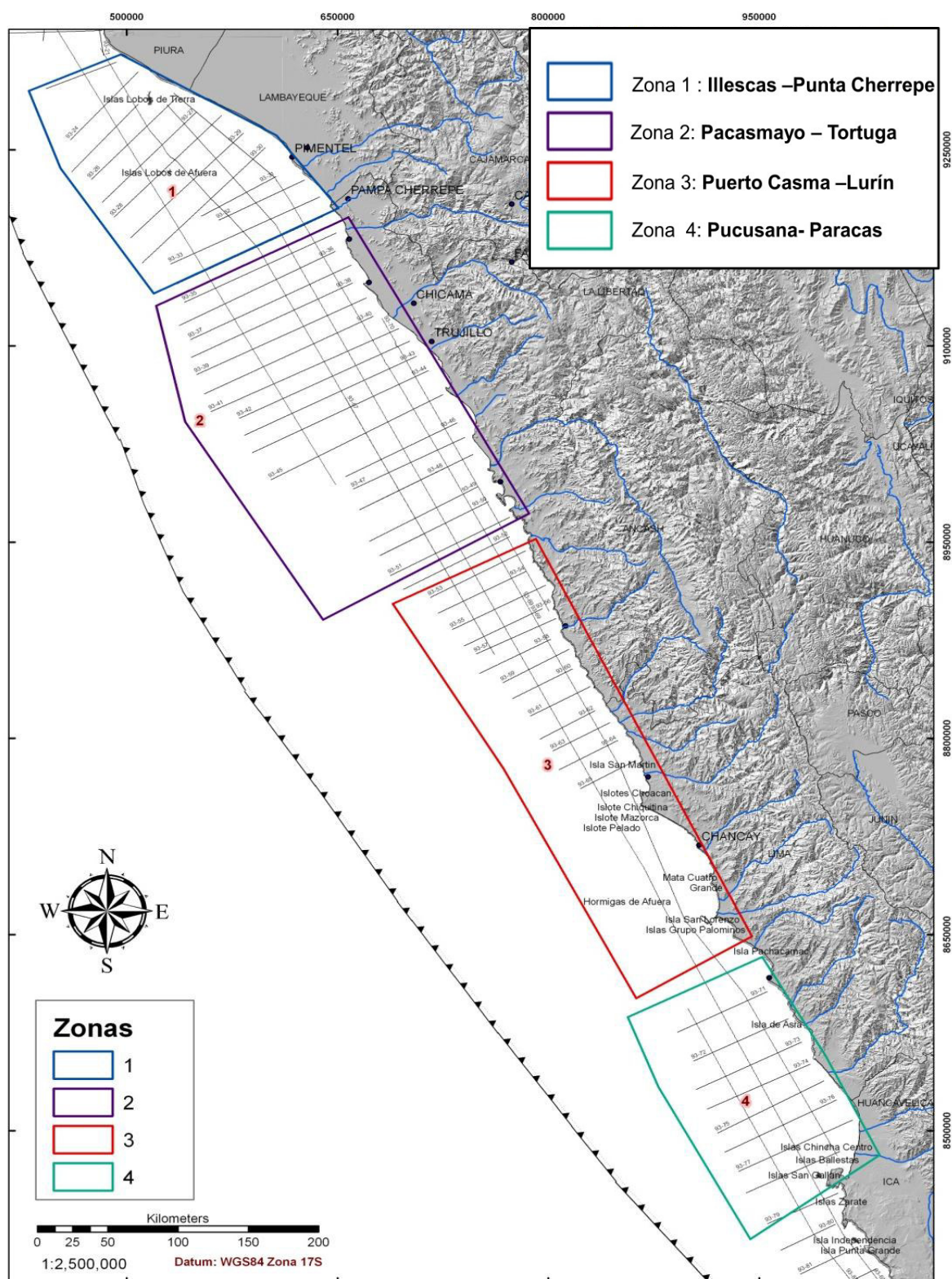


Figura 4.11, División de la zona de estudio en cuatro zonas mayores





#### 4.5.1 Zona 1 Illescas –Punta Cherrepe

Comprende la plataforma continental desde Illescas hasta Punta Cherrepe frente Lambayeque Chiclayo y el sur del departamento de Piura esta zona se caracteriza por su poca información tanto de pozos como de información bibliográfica de levantamientos geológicos antes realizados, para el estudio de esta area se utilizaron 11 líneas transversales a la línea de costa y 4 líneas paralelas extraidas del proyecto Rybiana 1993 como ya fue descrito anteriormente.

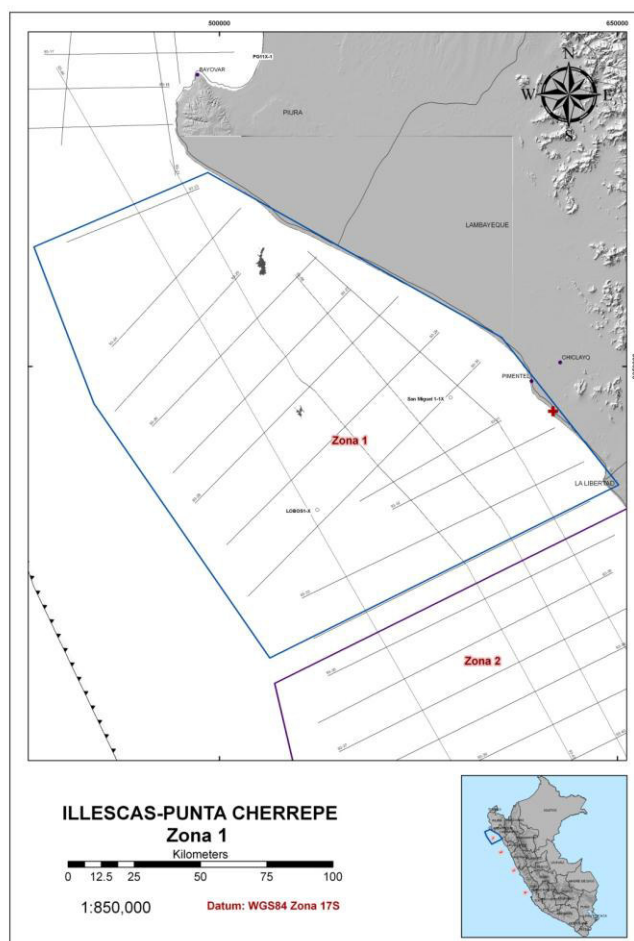


Figura 4.12, Zona 1 desde Illescas hasta Punta Cherrepe frente Lambayeque Chiclayo y el sur del departamento de Piura

##### 4.5.1.1 Antecedentes y Puntos de referencia en el área

En la zona 1 se tiene como puntos de mayor referencia el pozo perforado en el año 2009 San Miguel 1X por la compañía Petrotech S.A. el cual perforo hasta una profundidad de 5507 pies, las muestras obtenidas fueron de origen ígneo con una composición diorítica en transición a gabro, Compuesto de anfíbol, plagioclasa y cuarzo (Valencia, 2009). Las muestras se encontraron bastante alteradas durante la



perforación sin embargo después de el análisis se concluye que el anfíbol y la presencia de sobre crecimiento de estos pueden indicar indicación un episodio de metamorfismo los cuales en edad podría ser relacionada con la edad de cristalización del Macizo de Illescas, Cardona et al. (2008)

La respuesta gravimétrica de esta zona muestra anomalías fuertes tanto en gravimetría como en magnetometría mostrando altos contundentes y arrojando densidades de 2.9 a 2.8 en profundidades de más de 4500 pies como muestra la Figura 4.13

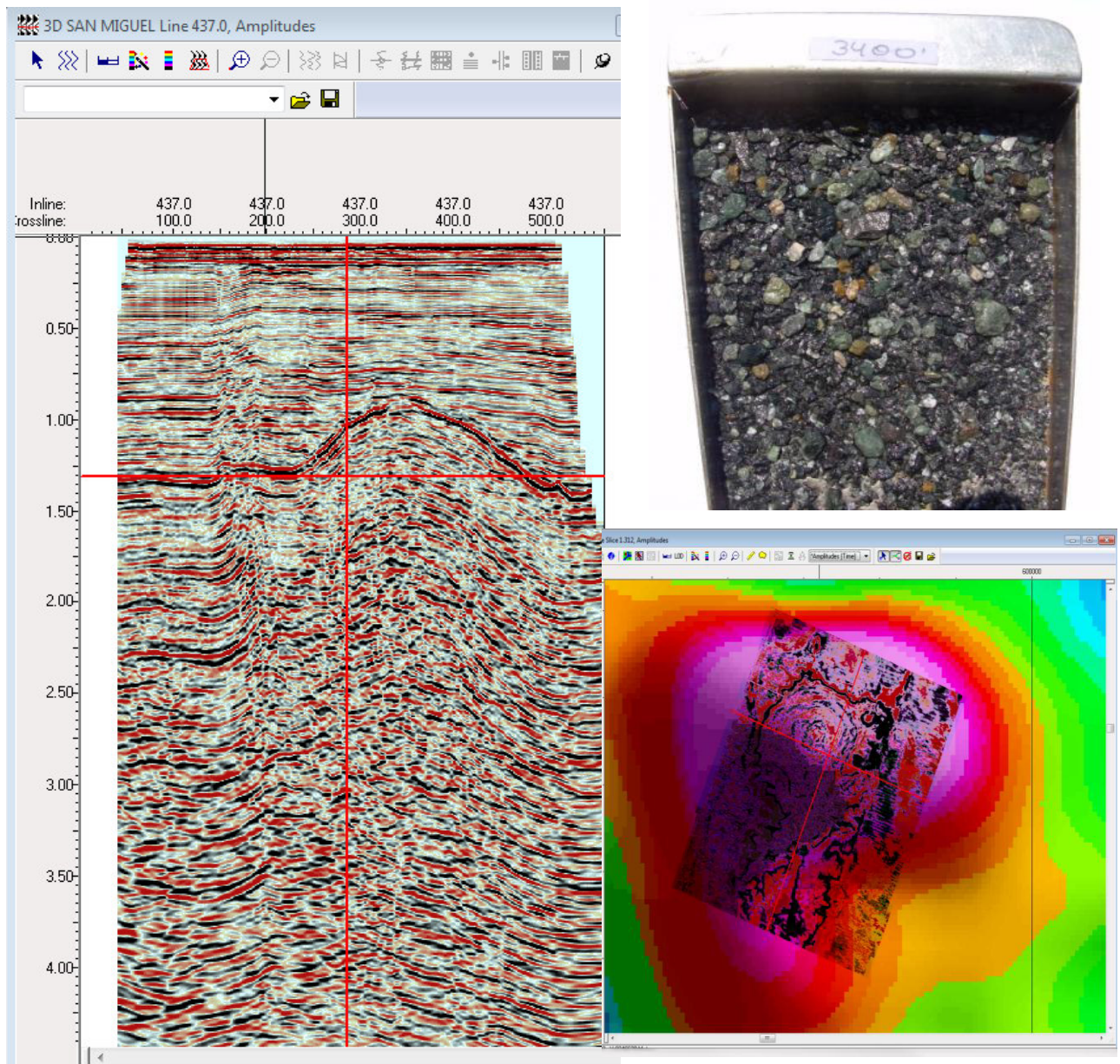


Figura 4.13, Imágenes de la línea sísmica 437.0, , respuesta gravimétrica y ripios recolectados durante la perforación Pozo San Miguel 1x





En la zona 1 se muestra la secuencia sedimentaria de las cuencas Salaverry y Trujillo separadas por un alto estructural, es conocida por los afloramientos presentes en la costa entre Chiclayo y Trujillo. La estratigrafía paleógeno y neógeno es conocida a través de los pozos Ballena y Delfín perforados en la cuenca Trujillo; estos pozos atravesaron una sección de 2 350 m y llegaron al basamento que está expuesto en la isla Lobos de Tierra, frente a Lambayeque.

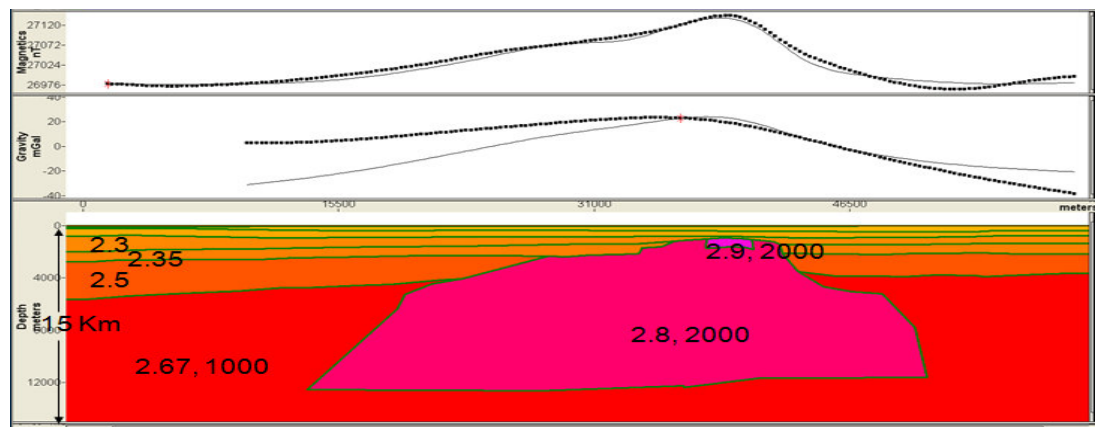


Figura 4.14, Modelo 2D del intrusivo encontrado en el Pozo San Miguel 1x con valores aproximados de densidad

#### 4.5.1.2 Análisis Gravimétrico y Magneto métrico

Para el análisis de esta zona como de todas las zonas se utilizó la primera derivada vertical del mapa magnetométrico reducido al polo por la posición en la que se encuentra el Perú ya que estos muestran mejores resultados, según los atributos del mapa Magnetométrico podemos obtener altos magnetométricos y Gravimétricos, se muestra que al oeste, aparece toda una mitad del complejo que exhibe campos potenciales bajos (43100-43250 nT, 7-9 mGal, tonos azules y verdes en las imágenes de campo magnético total y anomalías de Bouguer, los cuales delimitan exactamente la influencia de los intrusivos encontrados en el Pozo de San Miguel 1x y la tendencia de los intrusivos de Higueron en la parte más continental, del mismo modo se observa en el mapa de anomalías de Bouguer una notable anomalía en las zonas mencionadas con valores que exhibe campos potenciales 43100-43250 nT, para la magnetometría y 7-9 mGal, para la gravimetría, en los valores de gravimetría, estos valores serán posteriormente utilizados para hacer una estimación de la profundidad tanto de los cuerpos ígneos como del basamento cristalino que demarca también una anomalía considerable por el tipo de roca y la alta densidad que estos presentan.

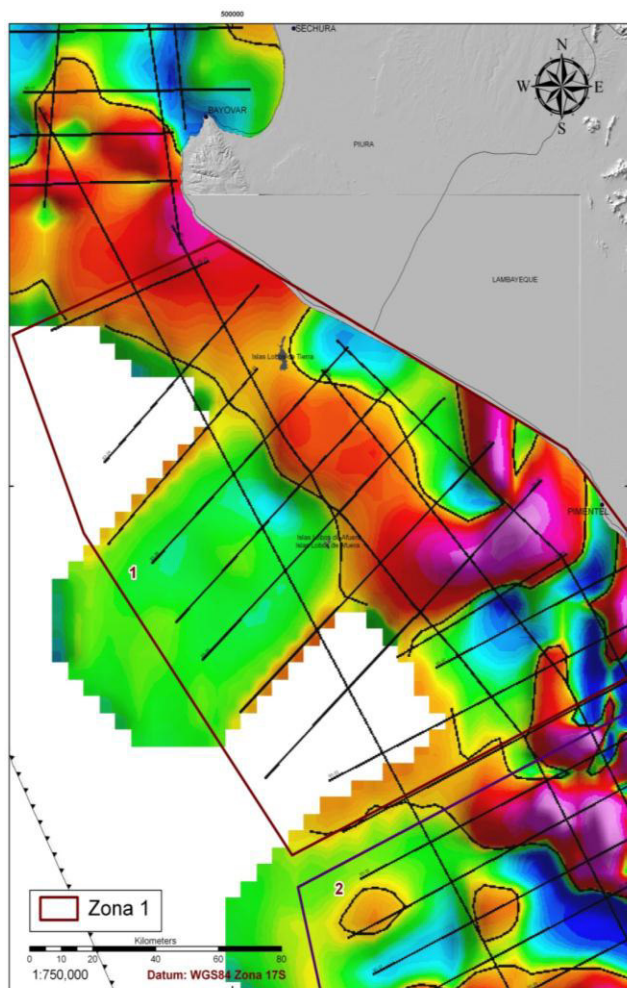


Figura 4.15, Magnetometría  
RTP – Primera derivada Vertical

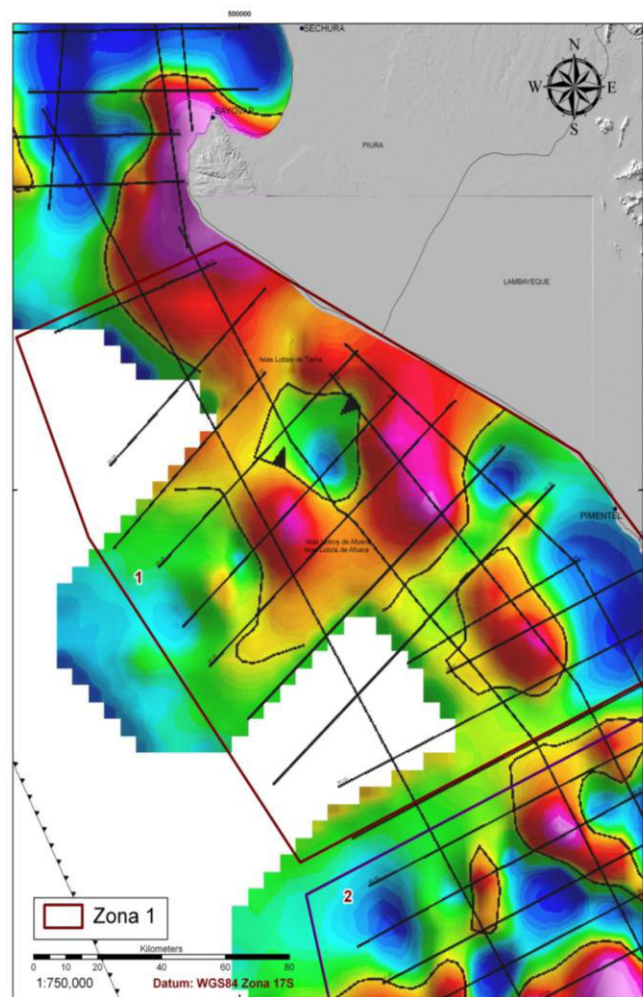


Figura 4.16, Anomalías de Bouguer- Primera derivada  
Vertical

#### 4.5.1.3 Identificación de posibles cuerpos intrusivos

Para el análisis e identificación de cuerpos intrusivos es necesario superponer las anomalías gravimétricas y magnetométricas las cuales aislarán los cuerpos que tengan mayor densidad y mayor susceptibilidad magnética tomando en cuenta que esto es principal característica de cuerpos intrusivos y Seguido de un análisis cualitativo de la zona como puntos de control principal como el pozo exploratorio de San Miguel 1X y la Isla lobos de Tierra se suprime del mapa de análisis cuantitativo resultado de la superposición de los valores de anomalías tanto gravimétricos como magnetométricos, el resultado de estos se muestra en el gráfico xx el cual es el resultado del análisis para esta zona 1 en donde se delimitan cuerpos no homogéneos y a la vez muy distanciados como posibles cuerpos intrusivos.

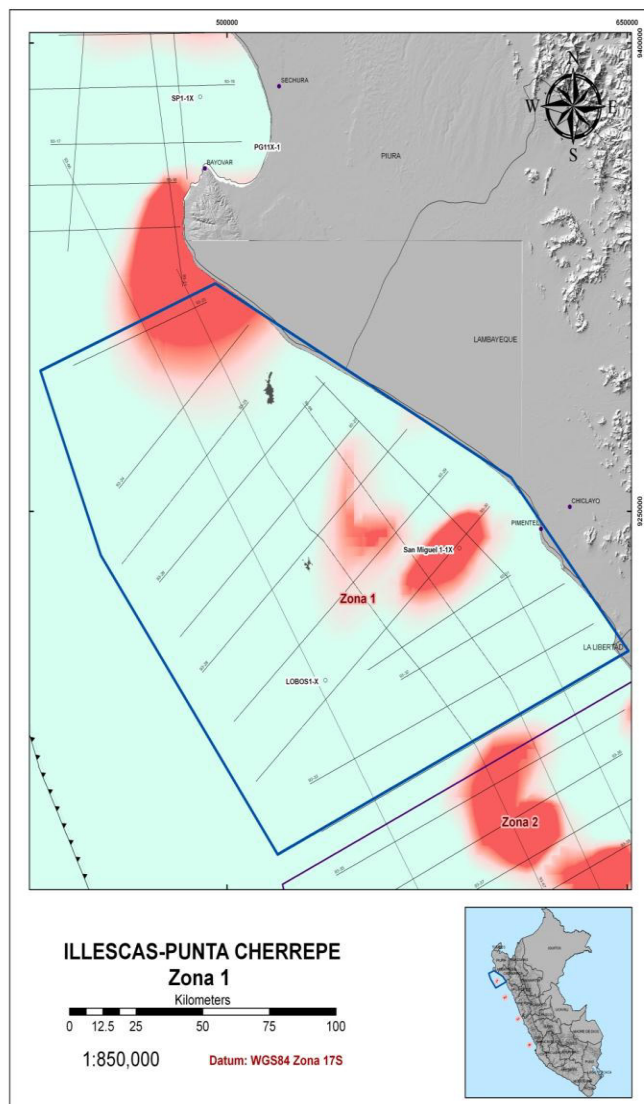


Figura 4.17, *Análisis Cuantitativo de Posibles cuerpos intrusivos*

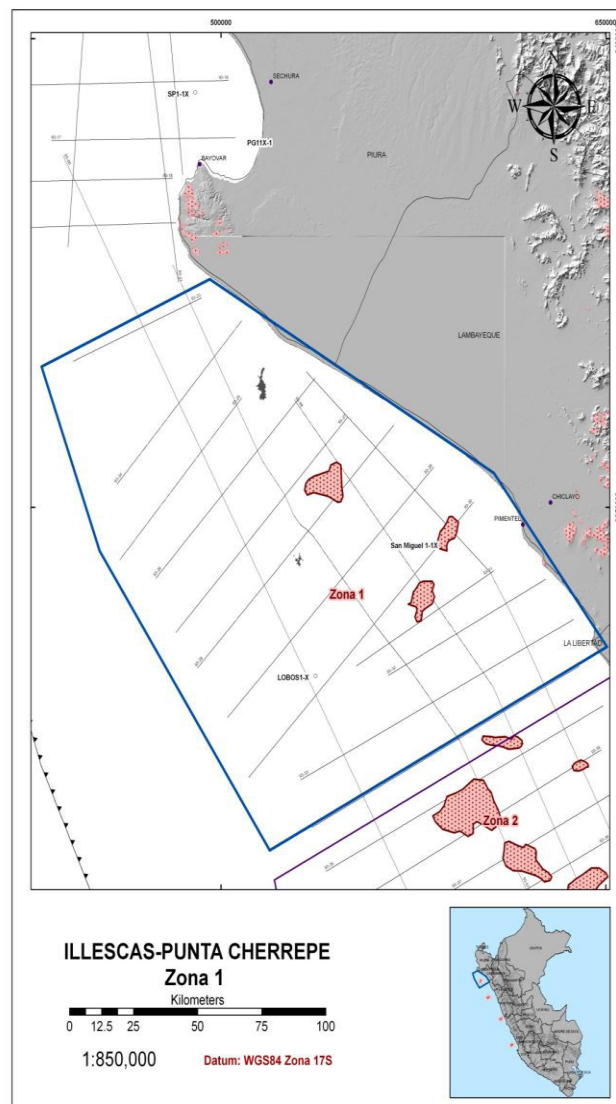


Figura 4.18, *Posibles cuerpos intrusivos en la zona 1*

Obtenida la ubicación de posibles intrusivos en el área se procede a estimar una profundidad para estos cuerpos utilizando la densidad el valor de las anomalías y la corrección de Bouguer, esta estimación es referencial y solo se hizo con fines de dar una noción de la profundidad, carece de correcciones por la columna de agua de mar.

Según la ecuación 01:

$$Z = \text{Mgals/K (Densidad de material)}$$



Donde:

$$Z = \text{Profundidad en metros} \quad K = \text{Constante de Bouguer } 0.04193 \text{ Mgal/gcc m.}$$

Se obtiene:

	Profundidad (m)	(ft)	Litología	Densidad	Profundidad (m) Obtenida según datos de anomalías gravimétricas
SM-1X	1678.53	5507	Igneo	2.79000	1222.382072

#### 4.5.2 Zona 2: Pacasmayo – Tortuga

La zona 2 Comprende la plataforma continental frente a las costas de Pacasmayo hasta la localidad de Tortuga en Chimbote pertenecientes a los departamentos de la Libertad y Ancash, dentro de las cuencas de Salaverry y Trujillo, como muestra la figura. La zona costera está compuesta por rocas del cretáceo principalmente con intrusiones del batolito de la costa y rocas volcánicas del arco de Casma. En esta zona se utilizaron 17 líneas transversales y 5 líneas paralelas a la línea de costa que contiene al igual que las demás áreas información sísmica, gravimétrica y Magnetométrica.

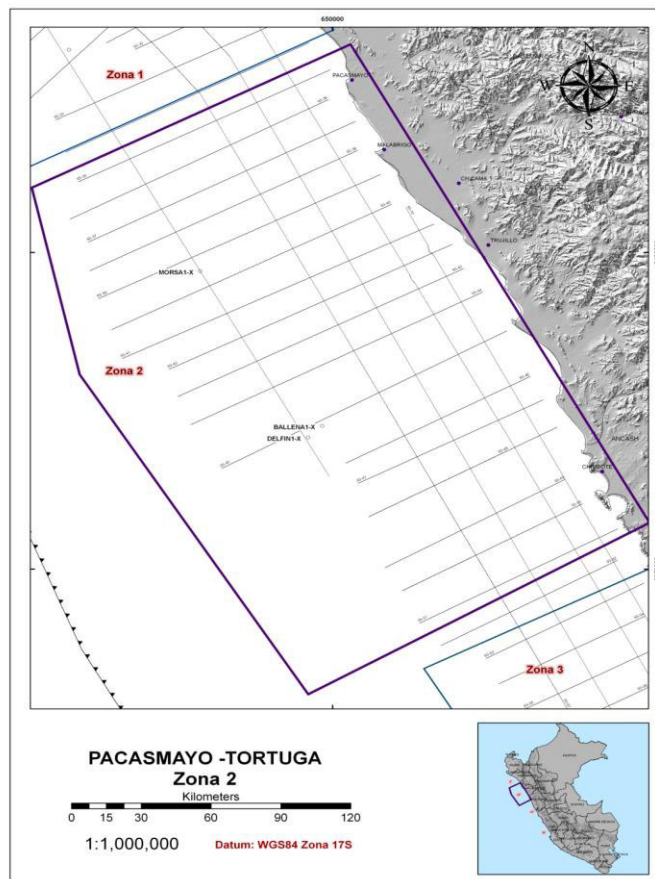


Figura 4.19, Zona 2 Área situada frente a las costas de los departamentos de La Libertad y Ancash





#### 4.5.2.1 Antecedentes y Puntos de referencia en el área

En esta area fueron de gran utilización las líneas sísmicas además de los pozos exploratorios anteriormente perforados por la empresa Occidental Oil Company como Ballena 8-x-1, Delfin 20-x-1 (Anexo 1) y Morsa Norte Z29M-37-1X (anexo2) perforado en el área del contrato SK Energy en 1999 por Repsol, que muestran gran información de un basamento metamórfico de anomalías gravimétricas notablemente marcadas, estos datos sirvieron para diferenciar basamento metamórfico y posibles intrusivos, con la ayuda de estos y las líneas sísmicas y el resultado del reprocesamiento de los datos de gravimetría y manometría se identifico posibles intrusivos

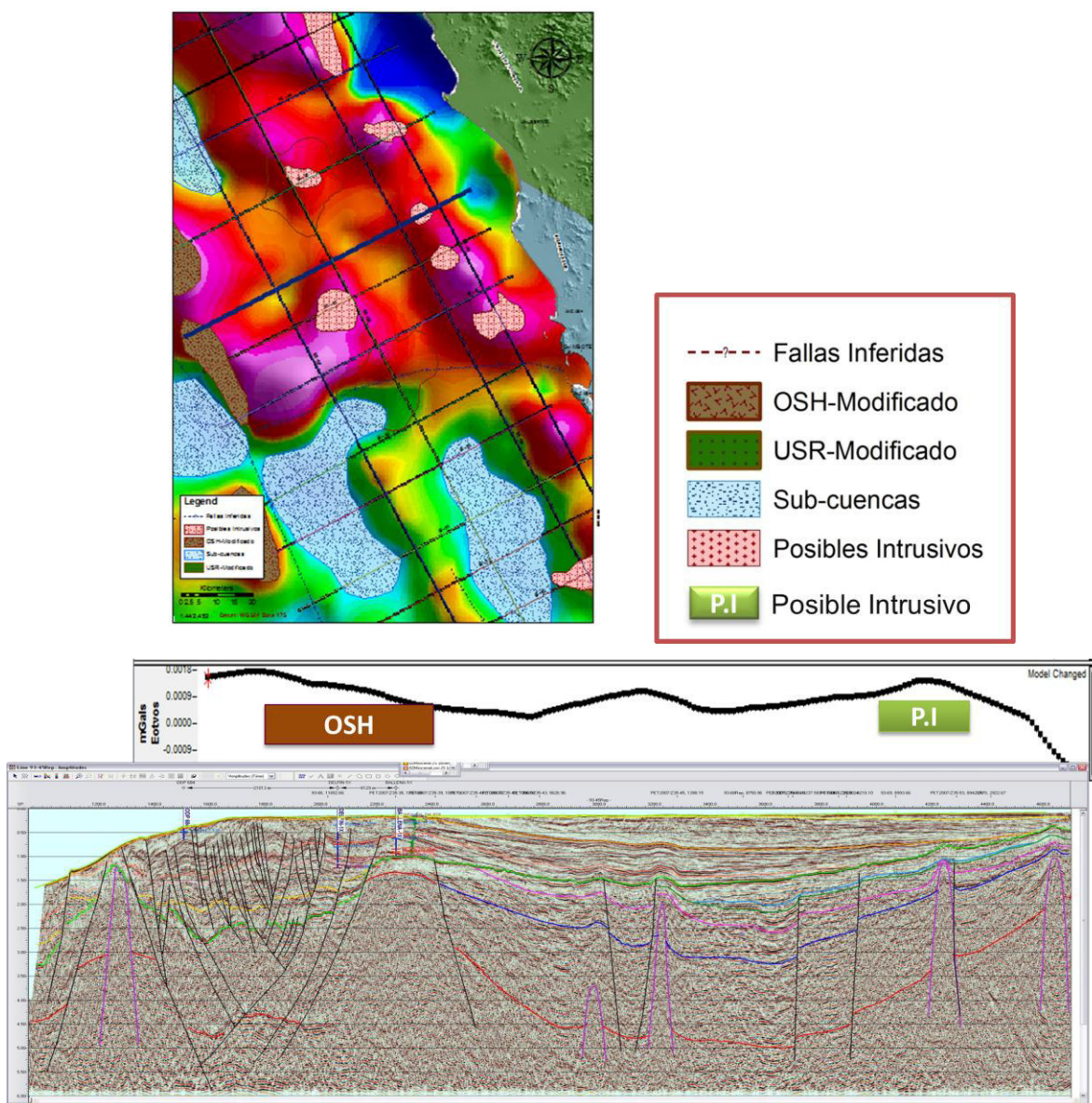


Figura 4.20, Línea 93-46 y la gravimetría del área





#### 4.5.2.2 Análisis Gravimétrico y Magneto métrico

Del análisis tanto gravimétrico como gravimétrico de esta área han sido de suma importancia para definir y diferenciar las respuestas en anomalías de un cuerpo metamórfico y un cuerpo ígneo según el análisis y la información precedente de esta zona se han podido validar la determinación de intrusivos a lo largo de toda el área de estudio.

Según esta diferenciación se utilizó la residual para eliminar los efectos de las fuentes más profundas y las varias cuencas que muestra el mapa de anomalías de Bouguer dando de resultado la separación que existe entre cuenca Trujillo y Salaverry y la aparición de varias cuencas pequeñas. Al noreste del mapa gravimétrico de tendencias alta se ve dividiendo la cuenca Salaverry en un componente norte y sur. En esta zona se delimita una anomalía notablemente frente a las costas de Trujillo el cual se ha interpretado como la continuación del arco de casca de edad cretácico el cual se encuentra en el litoral norte del país con una dirección NO-SE. Figura 4.21 ya que según los valores de los residuales no alcanza el valor de un intrusivo pero tampoco puede ser definido como roca sedimentaria o metamórfica de basamento por sus bajos valores de densidad

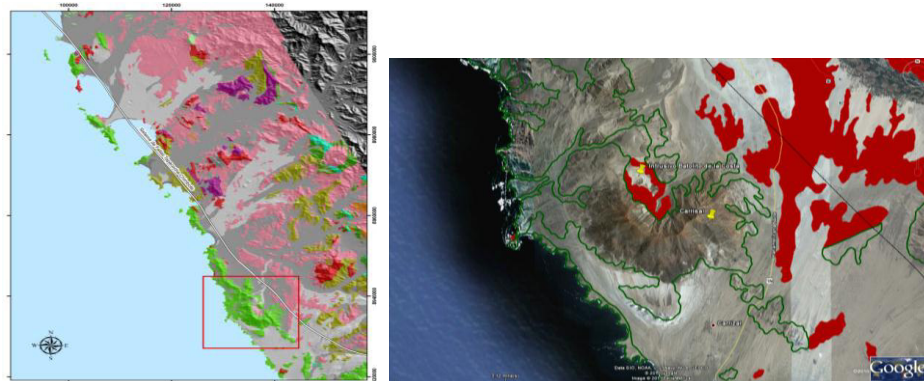
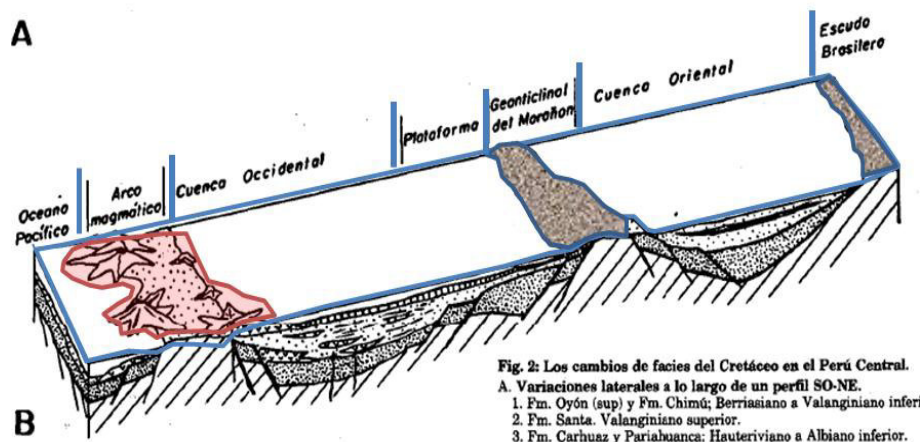


Figura 4.21 Cretácico en el Perú central

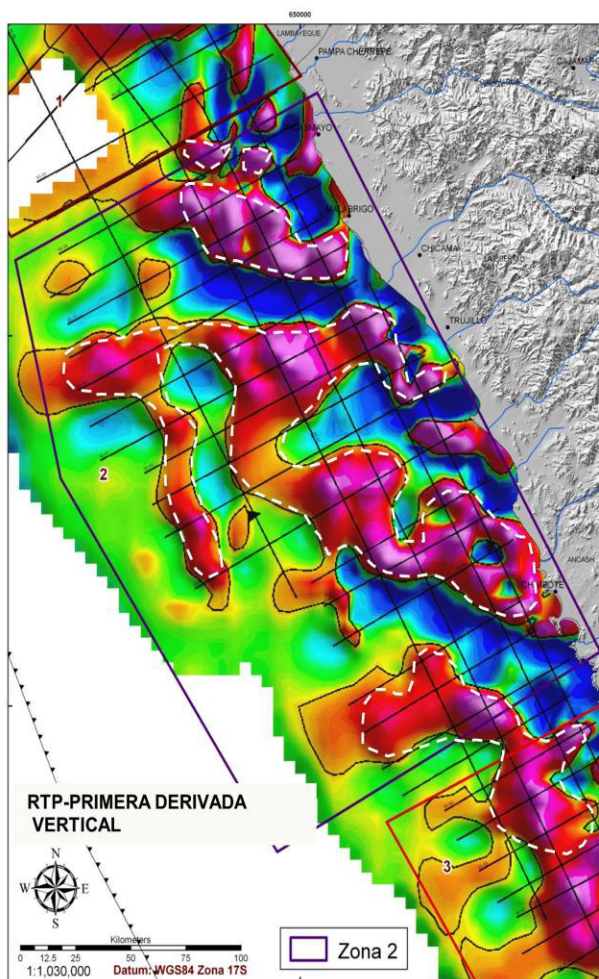


Figura 4.22 RTP Primera derivada Vertical de la zona 2

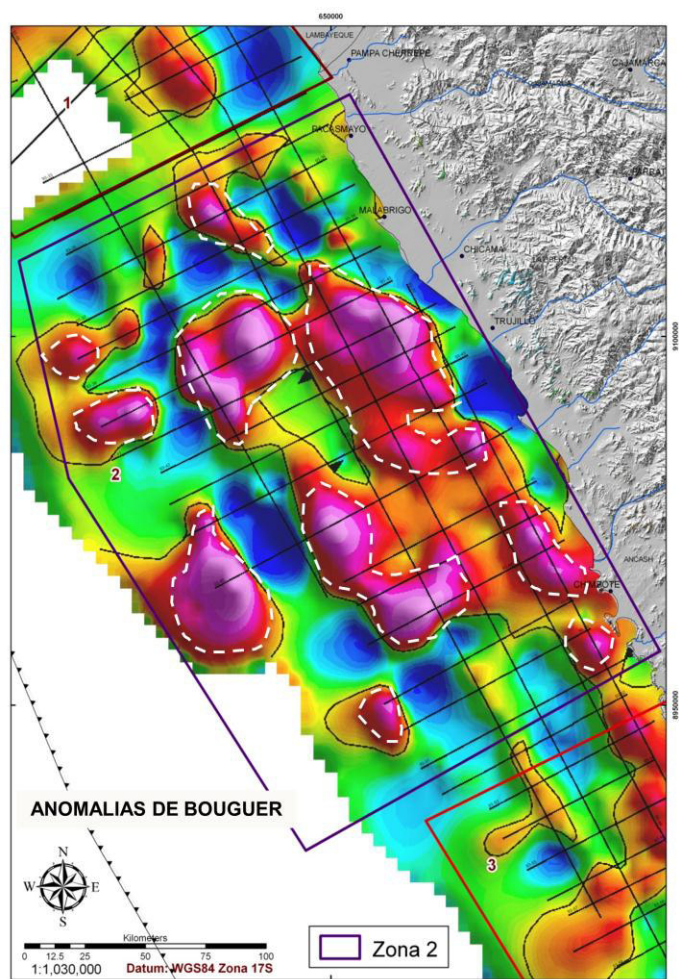


Figura 4.23 Bouguer Primera Derivada Vertical de la Zona 2

Para la calibración de los resultados de la zona 2 se utilizó la información obtenida del pozo Morsa Norte el cual perforo fue perforado en la cuenca Trujillo perforado en el área del contrato SK Energy en 1999 por Repsol, donde se encontró un basamento metamórfico en una profundidad de 1170-1281 m el cual corrobora la existencia de una anomalía positiva muy alta en el mapa de anomalías de Bouguer sin embargo muestra anomalías negativas para el Rtp de anomalías magnéticas lo que define esta zona como zona de basamento, según esto se obtuvo los posibles intrusivos mostrados a continuación en los siguientes mapas.



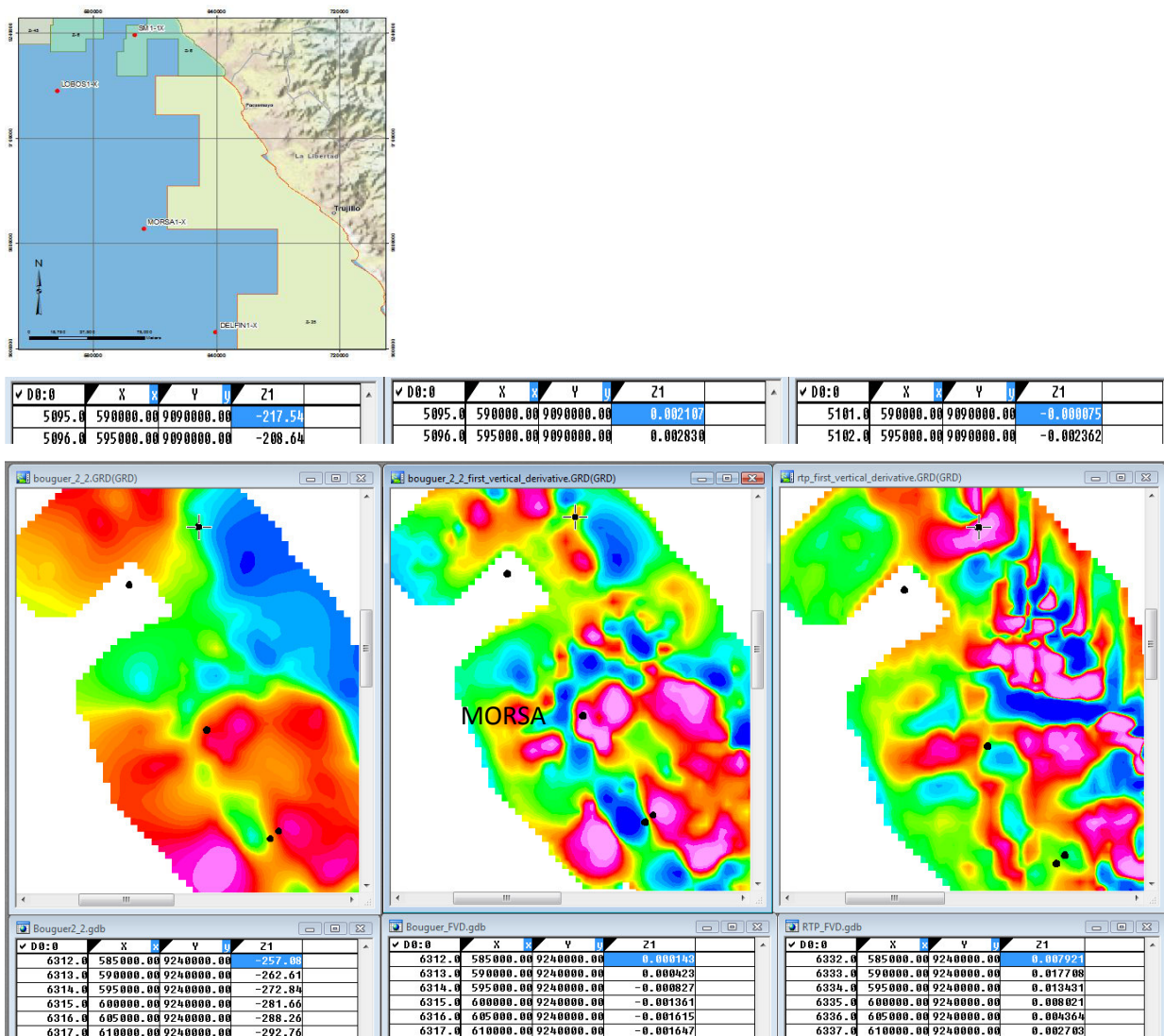


Figura 4.24, Análisis de Anomalías del Pozo exploratorio Morsa IX

	Profundidad (m)	(ft)	Litología	Densidad	Profundidad (m) Obtenida según datos de anomalías gravimétricas
Morsa	1154	3788	Basamento	2.74000	1277.639603

#### 4.5.2.3 Identificación de posibles cuerpos intrusivos

En la zona 2 se delimito según el análisis ya mencionado cuerpos pequeños de aparición intermitentes de intrusivos con dos importantes estructuras mayores de aparentes intrusivos los cuales según lo ya mencionado podrían estar influenciados por la continuación del arco de Casma lo que estaría dando para esta zona unos altos exagerados de anomalías gravimétricas, ya que el estudio realizado es un estudio a



nivel regional se tomaron como cuerpos con mayor influencia de rocas ígneas por su alta susceptibilidad magnética, pero requiere de un análisis detallado posterior.

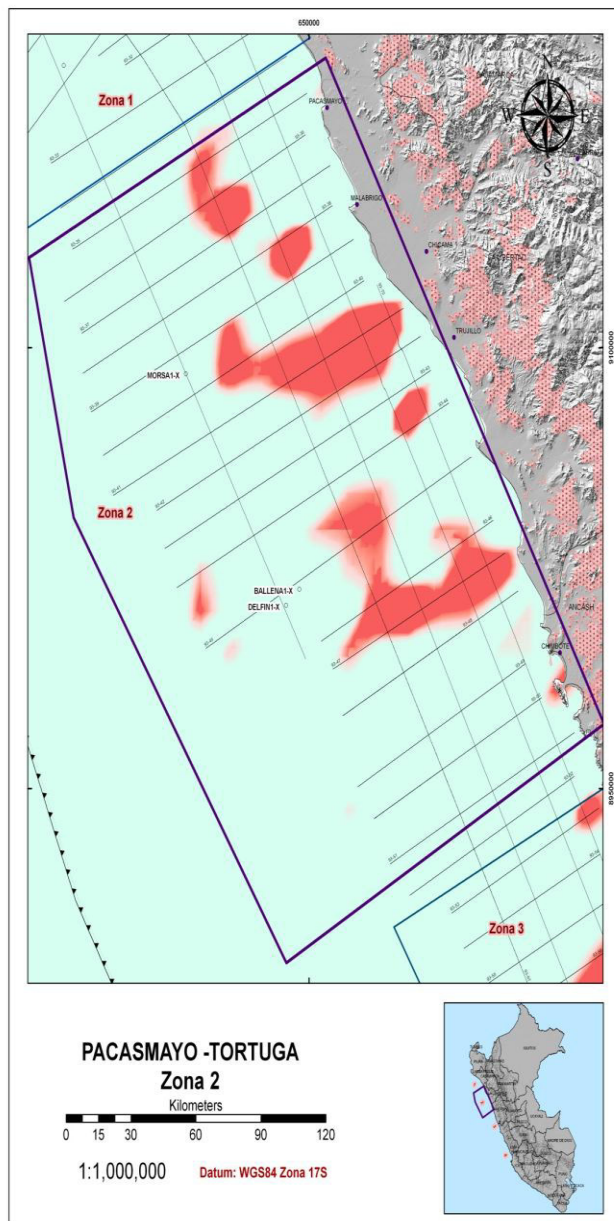


Figura 4.25, Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, Zonas con posibles cuerpos intrusivos

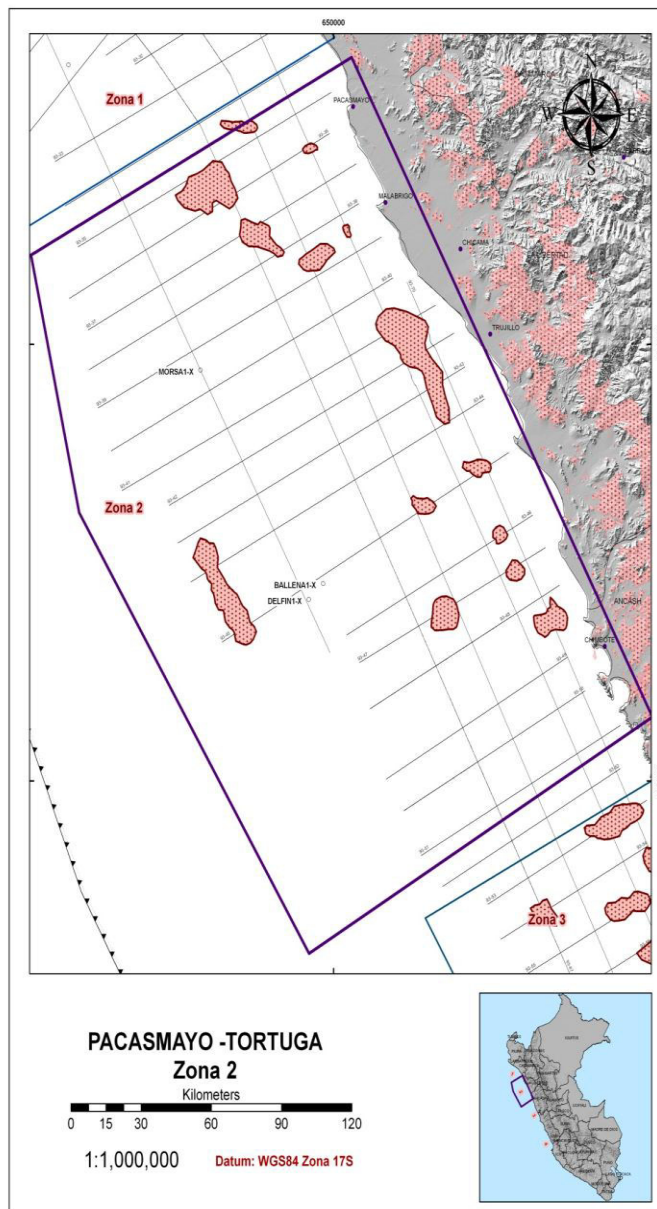


Figura 4.26, Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, Zonas con posibles cuerpos intrusivos

Según el análisis de profundidad del basamento encontrado en las perforaciones y poder corroborarlo con la información gravimétrica y magnetometría en esta zona se tomo como base la información de pozos Ballena 8-x-1, Delfin 20-x-1 utilizando para ello la ecuación 01 se obtiene:



	Profundidad (m)	(ft)	Litología	Densidad	Profundidad (m) Obtenida según datos de anomalías gravimétricas
<b>Delfín</b>	<b>2612</b>	8582	Basamento	2.74000	<b>2036.762696</b>
<b>Ballena</b>	<b>961</b>	3655	Basamento	2.74000	<b>1253.392428</b>

los resultados que se muestran en el cuadro son un cálculo de profundidades de los pozos en donde se conoce la profundidad exacta encontrada de manera que sirvieron de base para analizar la posible profundidad del intrusivo para ello se utilizó la interpretación de la línea 93-45 en la cuenca Trujillos dando un aproximado de 2059.30988m (Figura 4.25). asumiendo que es un granito de densidad 2.71, de los resultados se obtuvieron profundidades muy similares a la interpretación sísmica corroborando una gran utilidad en este método que pretende determinar las profundidades de los cuerpos intrusivos utilizando la información de la primera derivada de Bougues y la primera derivada magnética.

#### ❖ Profundidad estimada Línea 93-45

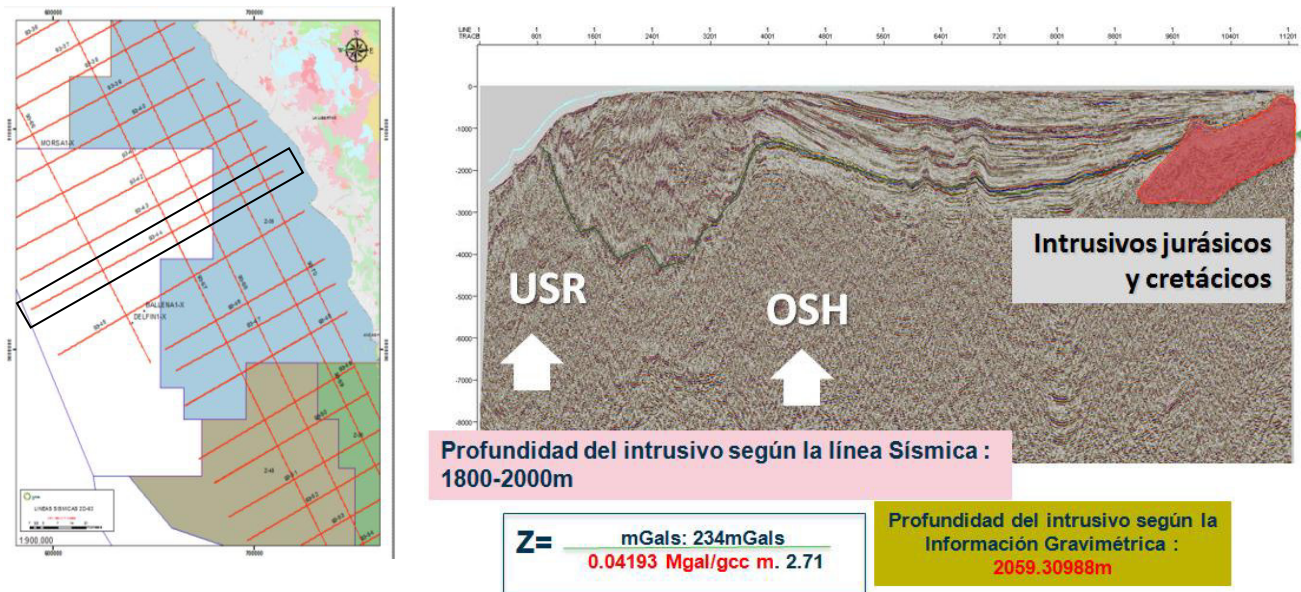


Figura 4.27, Cálculo de profundidad de los posibles intrusivos encontrados según la interpretación sísmica de la línea 93-45







#### 4.5.3.1 Antecedentes y Puntos de referencia en el área

En esta zona son tomados como puntos de control las islas Mazorca, Isla Huampanu, Isla Loberas y Pelado. La isla Mazorca se ubica a 35 km. al SO de la localidad de Huacho, aquí se pudo identificar Gabros y Gabro-Dioritas afectadas por un sistema principal de fracturas sub-verticales ONO-ESE, (Llerena,2011),

La isla Humpanu se ubica a 25 Km. al SO de la localidad de Huacho, en esta isla se pudo identificar rocas intrusivas máficas posiblemente gabro-dioritas afectadas por dos sistemas de fracturas principales NO-SE y NE-SO, la Isla Loberas a 30 km. al SO de Huacho, constituido por rocas Dioritas, de estas Islas Se ha recolectado y enviado a datar por el método de Fision Track, estas muestras fueron obtenidas de las campañas de campo realizadas por Savia Peru S.A. en el 2010.

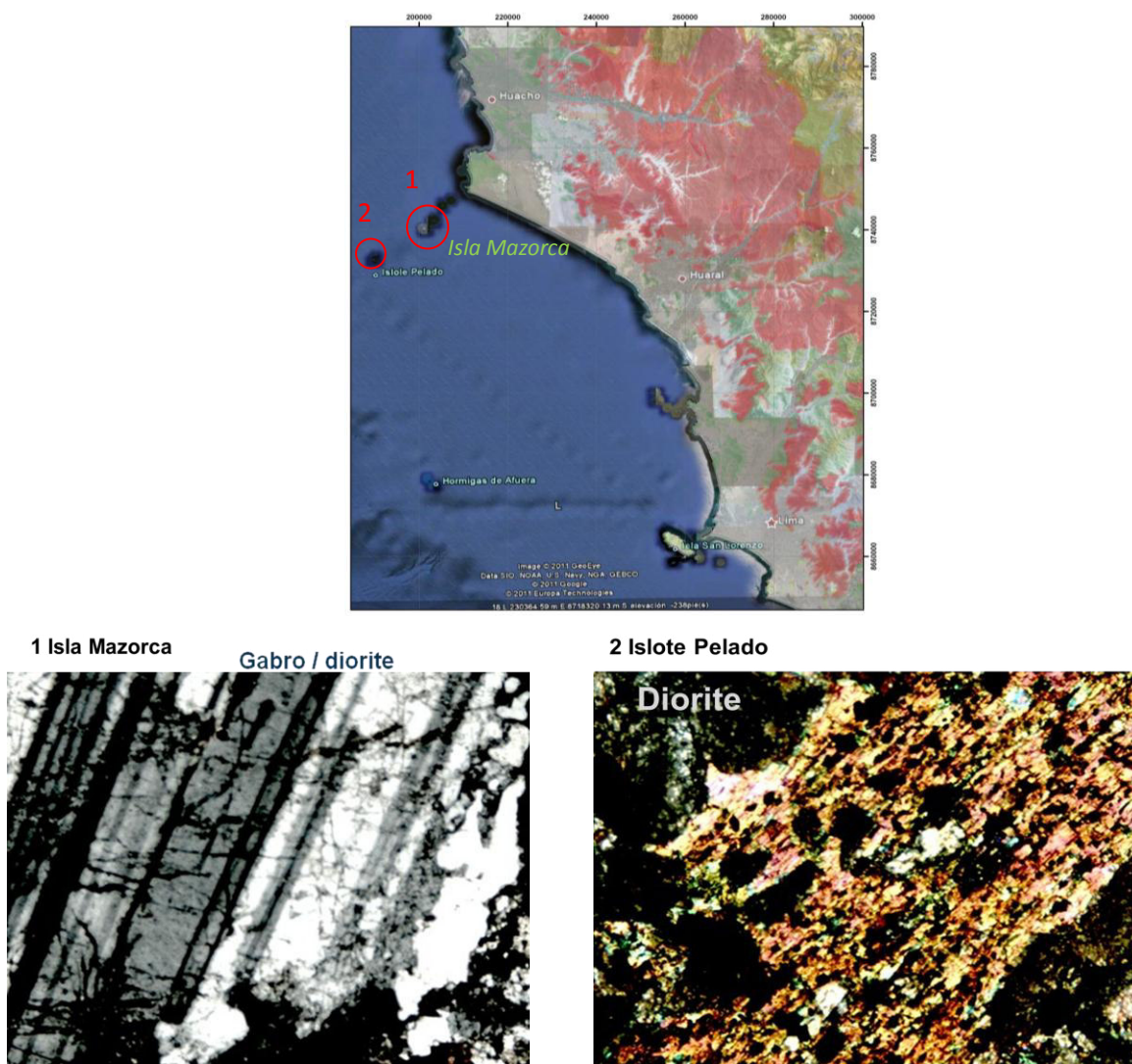


Figura 4.29, Ubicación de las Islas Mazorca y Isla Pelado, La isla Mazorca compuesta de rocas de gabro diorita y el islote pelado donde se muestreo Dioritas principalmente.



### Petrografía:

**Isla Loberas:** Diorita alterada y parcialmente recrystalizada. La roca contiene plagioclasas, fenocristales parcialmente fragmentados recrystalizados de clinopiroxeno, anfíbol y una abundancia relativa de magnetita. Cuarzos de grano fino intersticial, epidota granular, Datación: El método de datación fue U-Pb sobre zircones, dio una edad Concordia de **127.2 ± 1.0 Ma**.

**Isla Mazorca** Diorita o gabro de grano grueso moderadamente oxidado. La plagioclase es muy sódica para el gabro y el cuarzo muy abundante (a menos que represente una parte fraccionada del gabro). La roca está compuesta predominantemente de plagioclase (An<sub>43-58</sub>) y en menor cantidad de anfíbol anhedral. de edad **120.0 ± 1.6 Ma**.

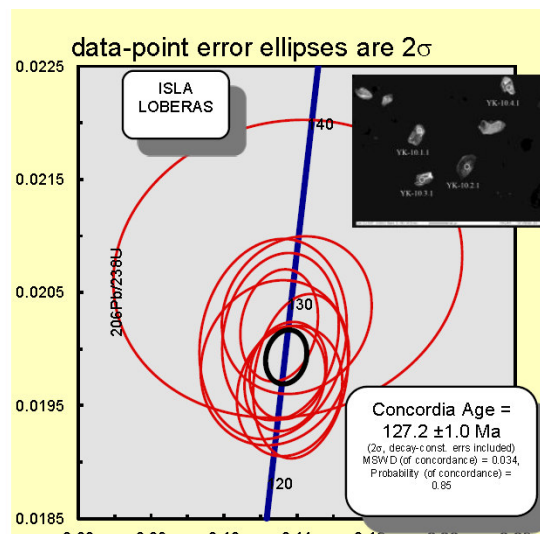


Figura 4.30, Datación de la isla Loberas bajo el método de datación U-Pb sobre Zircones (Romero et.al 2013)

**Isla Huampanu:** Roca moteada, alterada y erosionada. La mineralogía sugiere que el protolito fue una diorita de grano grueso. La roca está compuesta predominantemente de plagioclase (composición andesítica), anfíbol, clinopiroxeno, cuarzo, magnetita, y en menor cantidad epidota. Datación: Los únicos minerales datados son plagioclase y anfíbol. La muestra arrojó un espectro de edad con buen comportamiento de 5 steps de plateau caracterizado por un 87.5 % de <sup>39</sup>Ar, de edad **117.0 ± 2.0 Ma**

#### 4.5.3.2 Análisis Gravimétrico y Magneto métrico

El estudio de esta area se realizo con 13 líneas perpendiculares a la costa y dos líneas paralelas, del Análisis de anomalías magnetométricas y magnetométricas de las islas en la zona 3 podemos observar que para la isla mazorca se tienen valores potenciales positivos gravimétricos y magnéticos entre valores de 0,00069- 0.00296 mGals/meters según lo que muestra la anomalía de Bouguer en la Primera derivada vertical (FVD) y en las anomalías Magnéticas (FVD) los valores son de 0.00664-0.01004 (nt/meters) lo cual muestra valores extremadamente altos correspondientes a intrusivos corroborando así la información obtenida en campo y el análisis petrográfico realizado según esta interpretación y tomando en cuenta que los altos gravimétricos no corresponden ni se superponen de manera continua con las anomalías de Bouguer, podría interpretarse de que se trata de un cuerpo heterogeneo no necesariamente masico intrusivo sino que puede corresponder mas a un arco volcánico donde posee rocas volcánicas con menos contenido de ferromagnesianos.



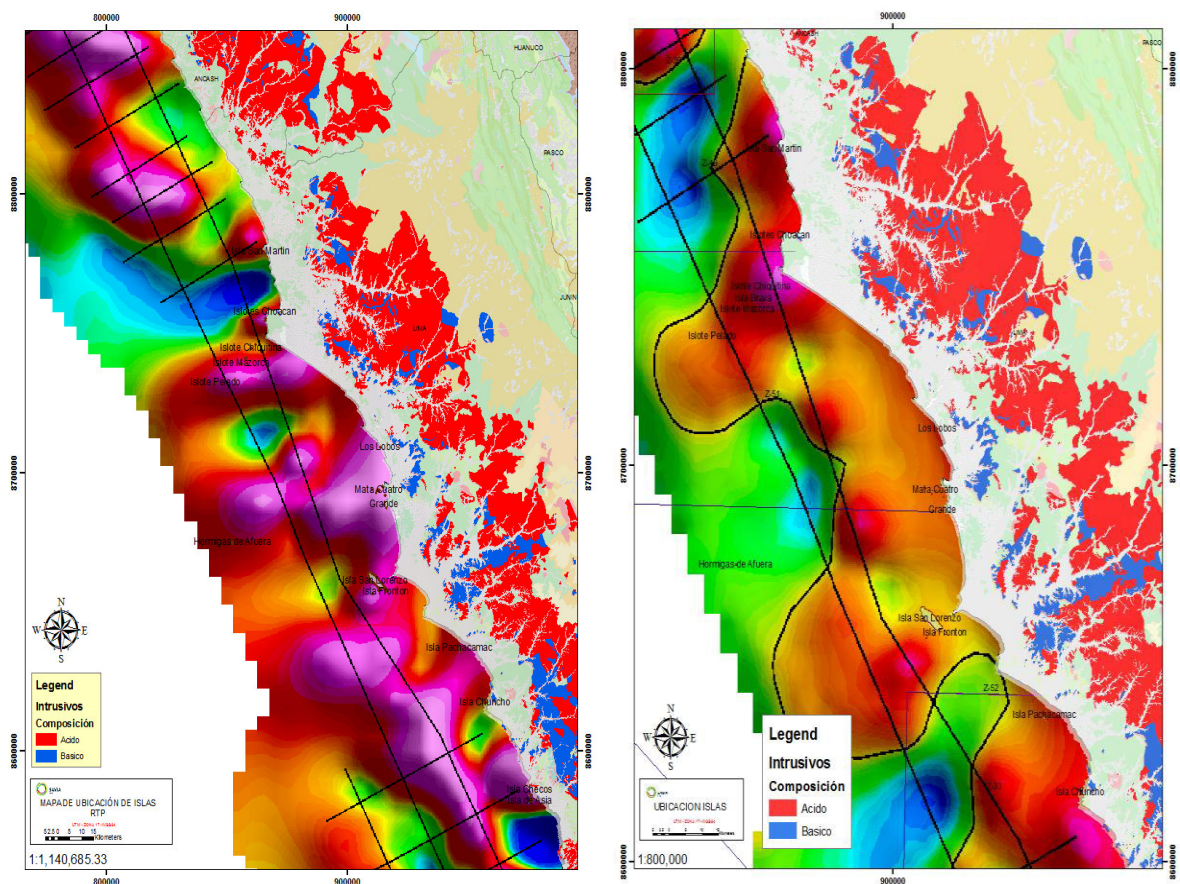


Figura 4.31, Análisis Magnetométrico (RTP) y Gravimétrico (FVD) del área de influencia de las Islas Mazorca y Pelado, realizado con el resultado de las líneas 93-68, 93-69

Según el análisis de estos puntos conocidos interpretamos la Zona 3 delimitando los altos magnetométricos y gravimétricos utilizando la misma metodología utilizada ya mencionada en las Zonas 1 y 2 tomando como referencia los valores obtenidos para las islas Mazorca, Humapanu y Pelado

En esta zona las anomalías de campos potenciales positivos en las anomalías de Bouguer muestra una zona con bastantes subcuencas las cuales pertenecerían a la gran cuenca Salaverry, la sobre posición de los valores de Magnetometría delimitan las zonas de posibles intrusivos.



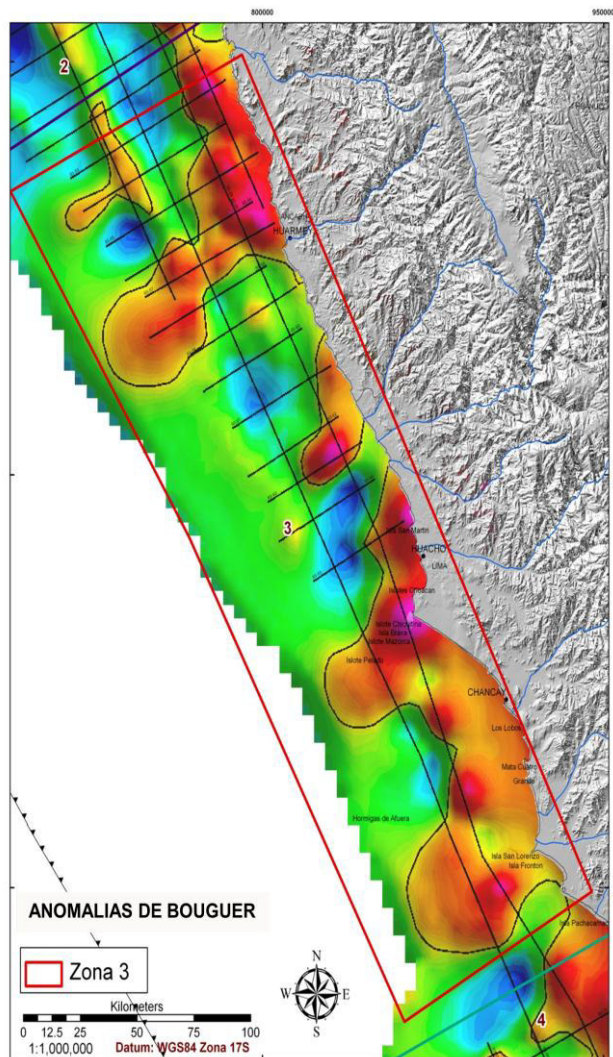


Figura 4.32, Mapa de anomalías de Bouguer (FVD) muestra dos áreas importantes de anomalías frente a la costa de Huarney y Huacho

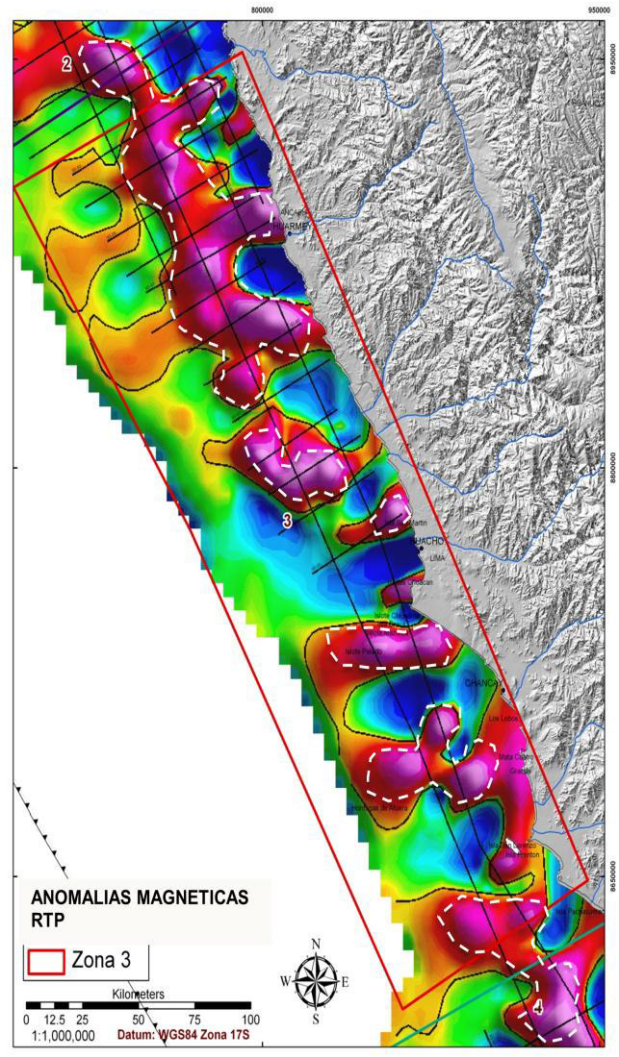


Figura 4.33, Mapa de anomalías Magnéticas presenta cuatro anomalías marcadas que siguen la dirección NE-SE

#### 4.5.3.3 Identificación de posibles cuerpos intrusivos

Esta tesis se desarrolla de la sobre posición de los valores de anomalías gravimétricas y Magnetométricas para extraer el mapa cuantitativo el cual será después afinado con la información de la sísmica y otros estudios previos en el área obteniendo así del análisis cuantitativo y cualitativo la figura 4.33 que muestra finalmente como podrían estar distribuidos los cuerpos con características de rocas intrusivas, este mapa de posibles intrusivos notablemente espaciados y de aparición intermitente con medida de entre 1km a 5 km el cual podría estar conformado por cuerpos no continuos a diferencia de la cordillera de la costa en continente donde los intrusivos son mayormente continuos, estos intrusivos de edad Cretáceo Inferior posiblemente podría ser la continuación del arco volcánico de Pucusana al sur y al norte la continuación



del arco de Casma. Esto sería la razón de la distribución de anomalías gravimétricas y anomalías magnéticas que estarían siendo el resultado de rocas volcánicas con algunas intrusiones que siguen la orientación NO-SE de la misma forma que el arco de Casma y el arco de Pucusana.

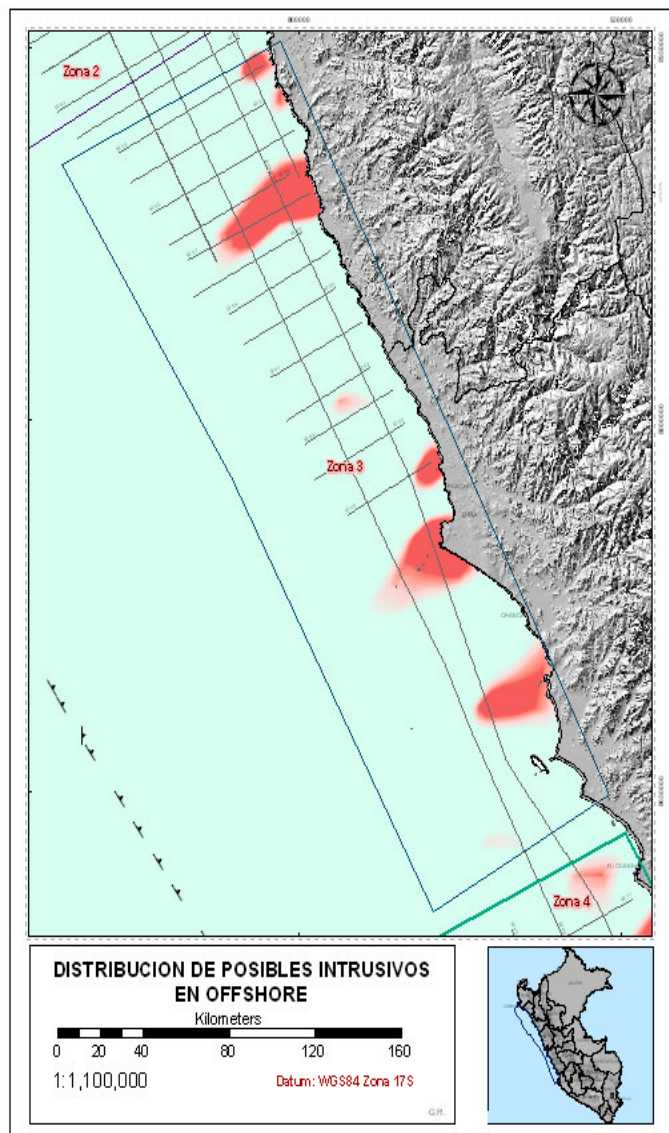


Figura 4.34, Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas de la Zona 3

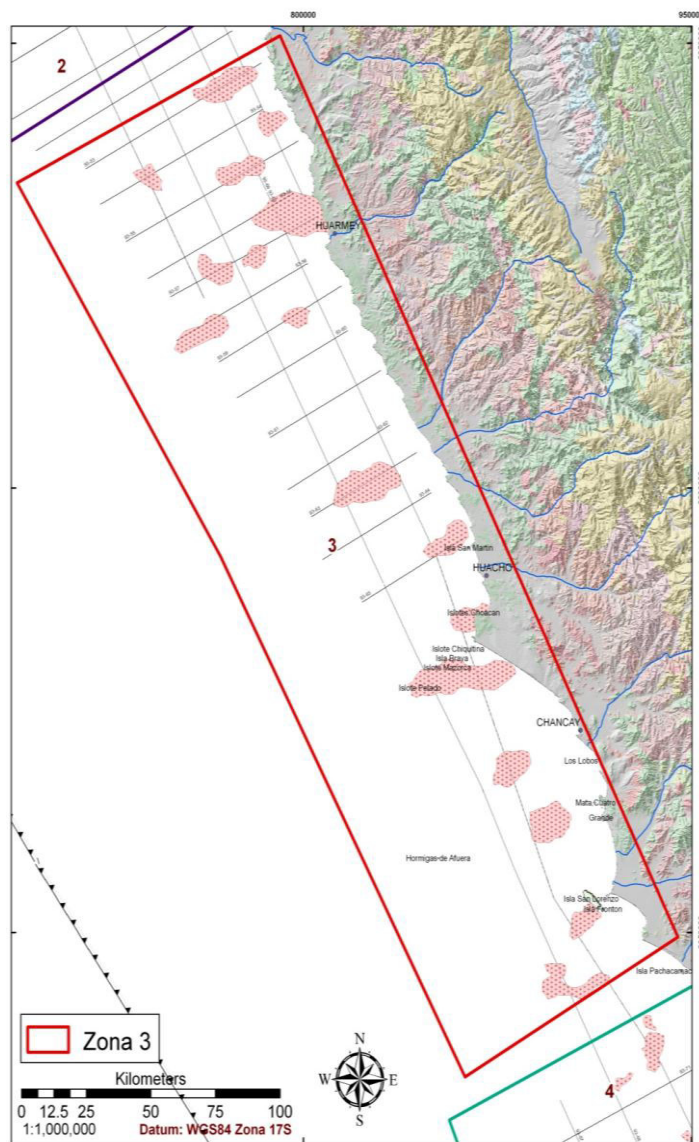


Figura 4.35, Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, Zona 3 con posibles cuerpos intrusivos







circulares se encuentran en la plataforma lo largo de la costa. La Cuenca Pisco Medio es también compartimentada en pequeños menos profundas subcuencas. Una tendencia gravedad alta de norte a sur lo divide de la Cuenca Pisco Oeste y es reconocido como el exterior Plataforma Ridge.

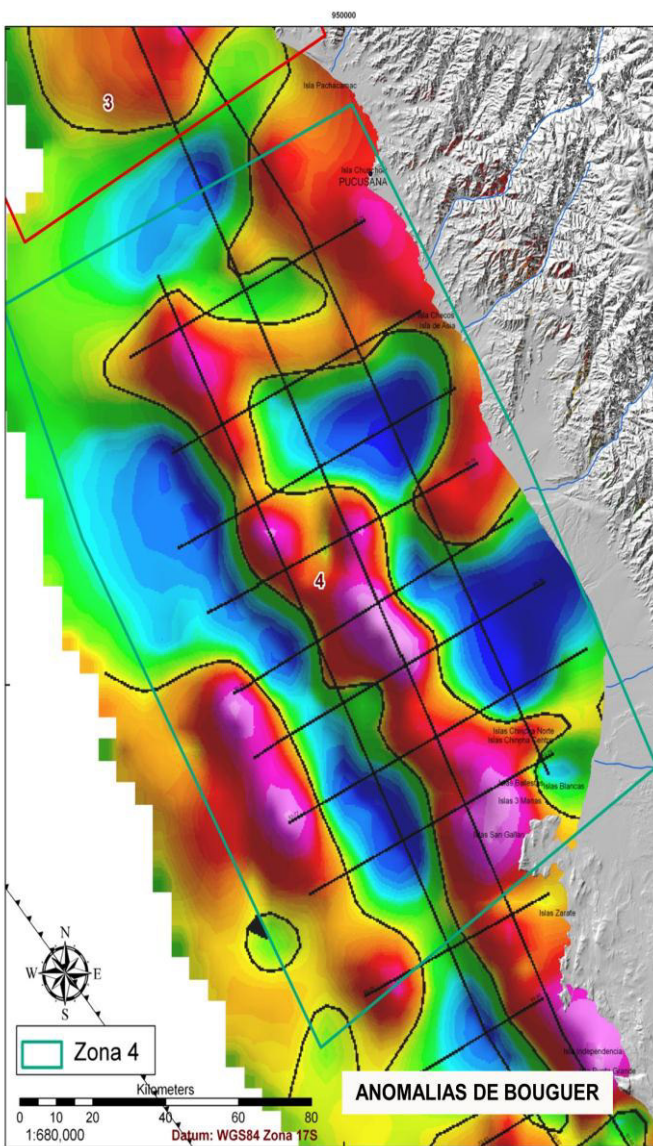


Figura 4.37, Mapa de anomalías de Bouguer (FVD) muestra dos áreas importantes de anomalías

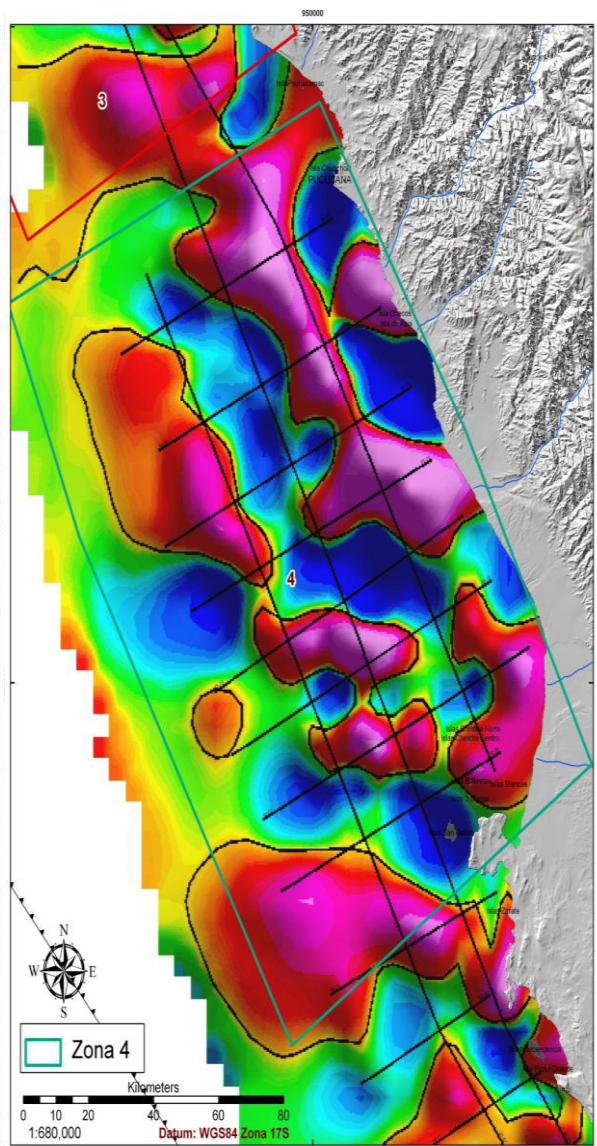


Figura 4.38, Mapa de anomalías Magnéticas (RTP) muestra dos áreas importantes de anomalías paralelas a la línea de la costa.





#### 4.5.4.2 Identificación de posibles cuerpos intrusivos

Es un mapa que muestra la ubicación de características de alta densidad y alta susceptibilidad. Este mapa fue generado mediante el uso de una técnica de separación de longitud de onda.

La gravedad de Bouguer y la intensidad magnética total reducido al polo se utilizaron para generar los residuales. El objetivo como se ha dicho era reconocer y aislar anomalías generadas por fuentes de alta densidad y de alta sensibilidad. Los valores máximos positivos de la Bouguer residuos y los valores máximos positivos de los datos magnéticos total reducido al polo, estos valores según la metodología ya mencionada puede sugerir la presencia de rocas de alta densidad. Del mismo modo los valores o amplitudes magnética altas positivas también son valores, estos valores puede sugerir la presencia de alta magnética rocas de susceptibilidad.

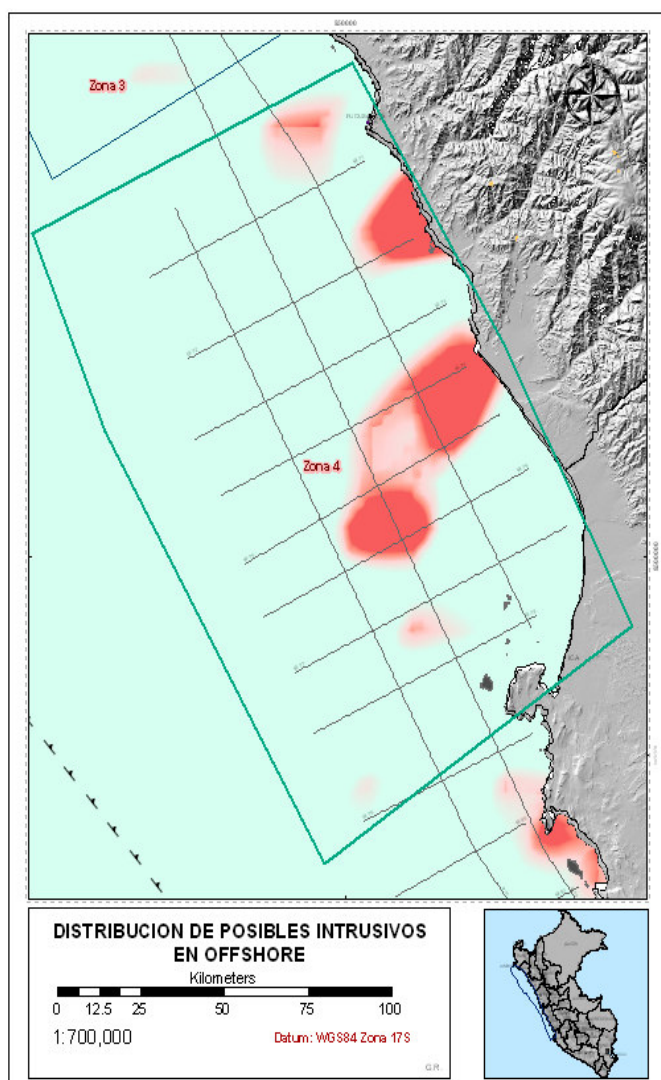


Figura 4.39, Resultado del análisis Cuantitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas de la Zona 4

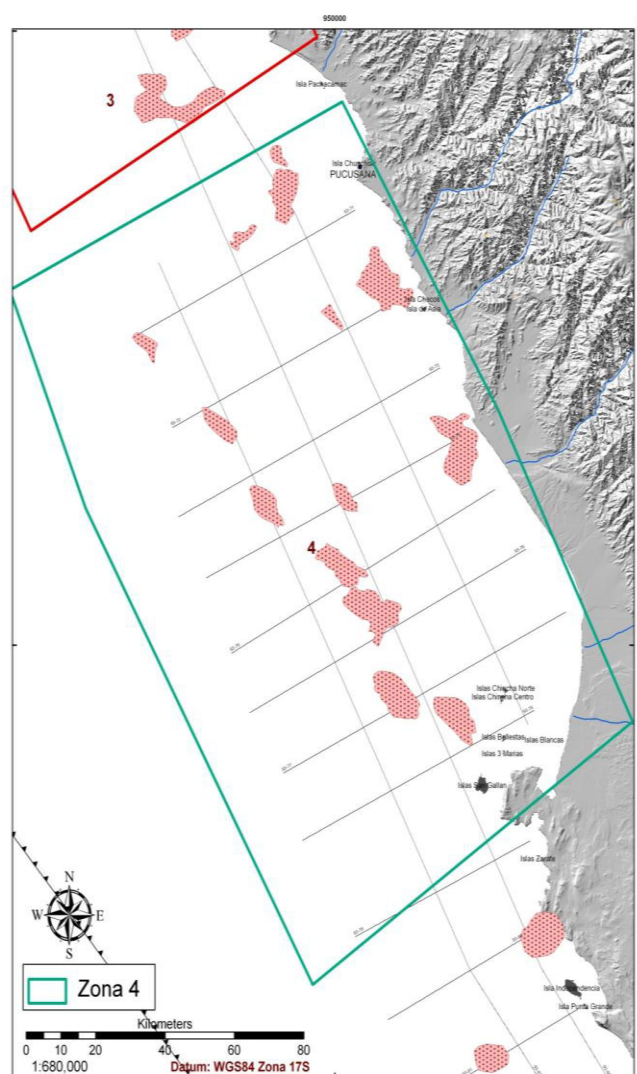


Figura 4.40, Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, Zona 4 con posibles cuerpos intrusivos

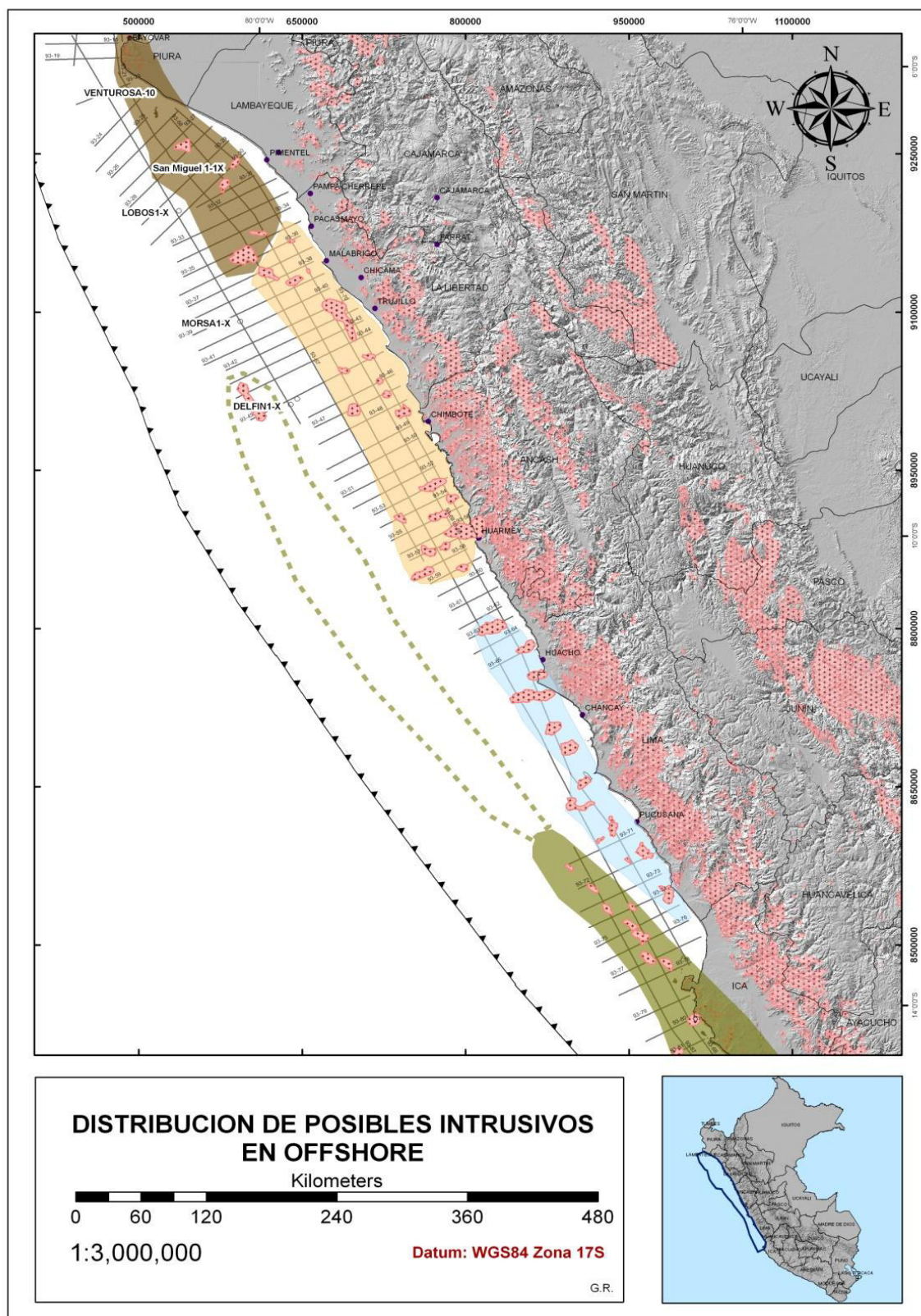


Figura 4.41, Resultado del análisis Cuantitativo y cualitativo de anomalías gravimétricas y magnetométricas, para las cuatro zonas de estudio y su comparación con los intrusivos en continente.





#### 4.6 Correlación de edades cronológicas para los intrusivos

Según todo lo estudiado se concluye que el margen posee cuatro ejes importantes donde la presencia de posible intrusivos se puede asociar a estudios ya realizados e información ya conocida de las costas aledañas y de la geología ya conocida de los áreas circundantes de esta manera se obtiene una separación con posibles edades cronológicas según las dataciones de puntos de control conocidos interpretación de las líneas sísmicas en el área que delimita un tope del basamento.

Al norte los posibles intrusivos se podrían relacionar a los granitoides Permo -triásicos del batolito de Higueron que van desde Illescas hasta el Ecuador (Figura 4.40)

En la parte central los ejes de posibles intrusivos pueden estar relacionados al batolito de la costa correspondientes a una intrusión de edad Mezozoico – Cenozoico mas al norte se correlacionan con el Arco de casma y al sur con la continuidad del arco de Pucusana como ya fue explicado anteriormente a detalle en el análisis de la zona 3 (Figura 4.41)

La zona de estudios mas al Sur estaría correspondiendo a una intrusión correlacionada al batolito de San Nicolas de edad Paleozoico- Ordovicoico. (Figura 4.42)

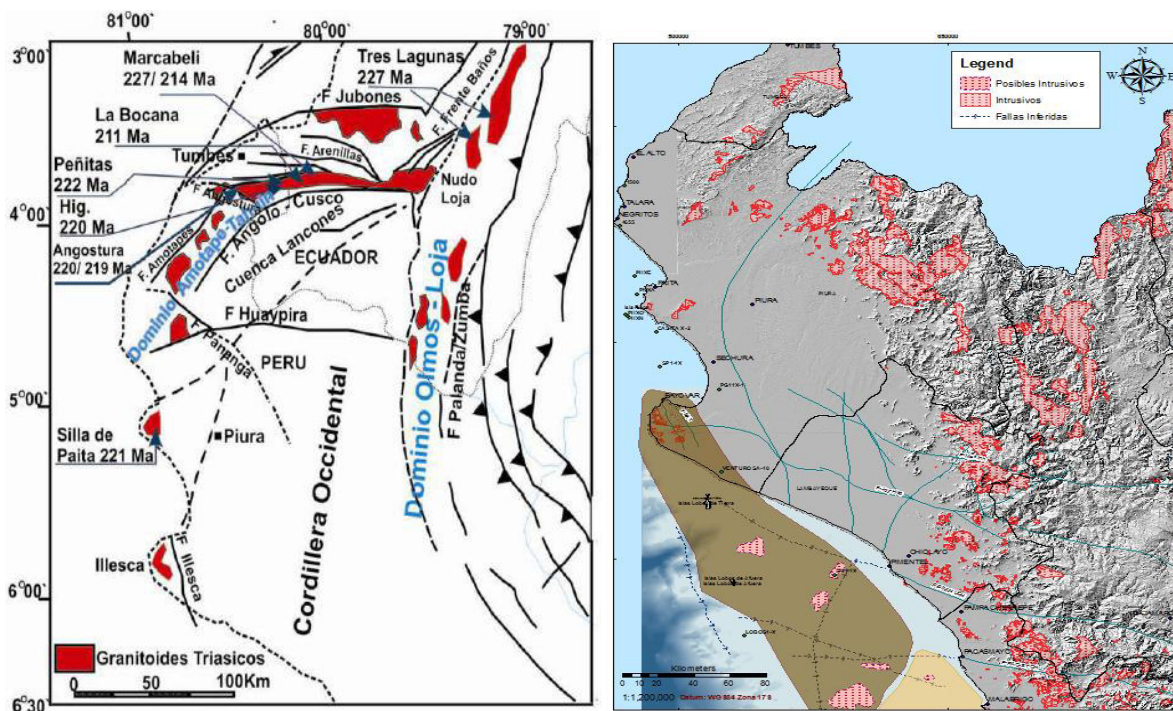


Figura 4.42, Esquema estructural del Norte del Perú y sur de Ecuador. Distribución de granitoides Triásicos, J.Sanchez 2008 y Posible distribución de los intrusivos Permo-triásicos en la zona norte Offshore

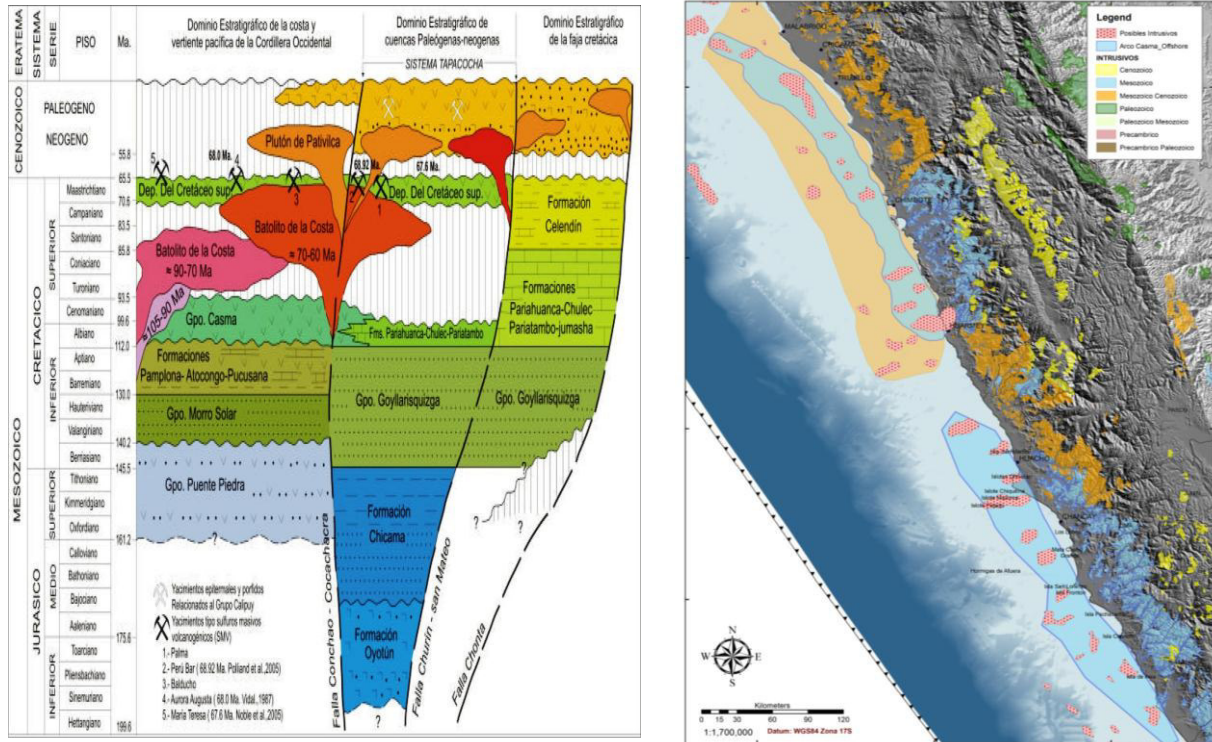


Figura 4.43, Esquema del Batolito de la costa tiene una edad entre los 90 – 70 ma y 70 – 60 ma (Romero, 2007) y Posible Distribución Mesoizoico -Cenozoica de intrusivos en Offshore

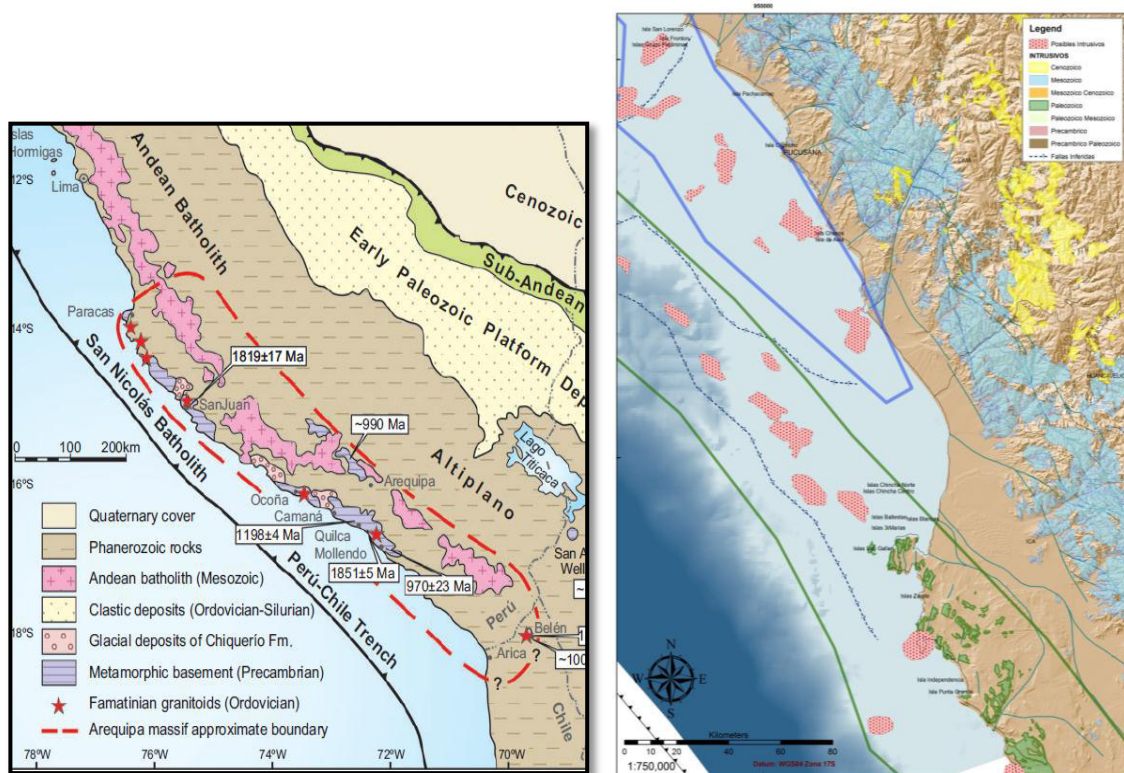


Figura 4.44, Esquema del Basamento de los andes Centrales en el sur Victor A. Ramos, y Posible distribución Paleozoico (ordovícico) y mesozoico de intrusivos en Offshore







## 5 CAPITULO V

### 5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La interpretación muestra importantes altos gravimétricos y magnetométricos 29 cuerpos de anomalías Gravimétrica y 21 cuerpos de anomalía Magnetométrica muy alta
2. El análisis de los datos por ser métodos indirectos no permite una Identificación certera de cuerpos intrusivos , pero nos muestra con mucha probabilidad una distribución de ejes principales según la interpretación que se obtiene de la relación de anomalías altas de gravimetría y Magnetometría .
3. De la integración de los datos de geología, gravimétrica y magnetometría se interpreta una distribución espacial y temporal de los posibles cuerpos intrusivos en la plataforma continental peruana correspondientes con el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en la costa según tres ejes principales al sur el batolito de San Nicolás 420 Ma. al norte el Batolito de Higuerón de 220 Ma. en la parte central el arco Pucusana – Punta Gramadal de 135-110 Ma. y El batolito de la costa de 105-160 Ma.
4. La interpretación en profundidad de los posibles cuerpos intrusivos, no se obtiene con precisión debido a que es un método indirecto, sin embargo con la ayuda de puntos de control es posible hacer una estimación que se aproxima a datos reales.
5. De acuerdo a la interpretación, se ha podido determinar algunos cuerpos intrusivos que son de ayuda como referencia para las posteriores evaluaciones en zonas de interés económico, orientando adecuadamente las exploraciones por hidrocarburos.



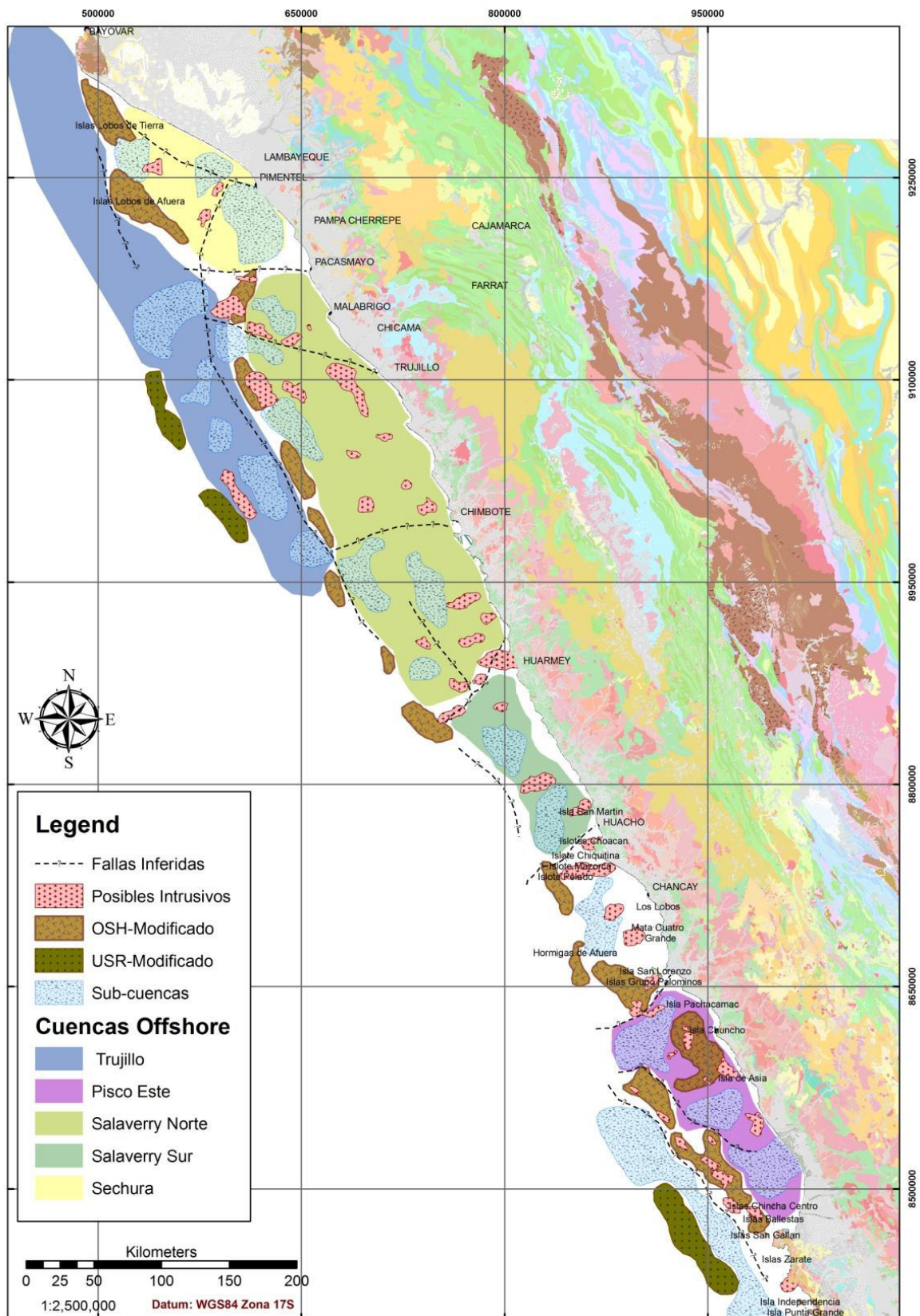


Figura 4.46, Mapa concluyente del estudio realizado con la distribución de posibles intrusivos, cuencas, subcuencas y basamento cristalino del offshore central del Perú



---

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. L. L. Nettleton, Elementary Gravity and Magnetism for Geologists and Seismologists, 1971.
2. Douglas J. Guion et al, Gravity and Magnetic: field work, Processing and interpretation, 1998.
3. David A. Champin and Mark E. Ander, Applying Gravity in petroleum Exploration, Chapter 14 AAPG .
4. Edward A. Beaumont, Using Magnetism in petroleum exploration Chapter 15, AAPG.
5. Kulm, L.D., Prince, R.A., French, W., Johnson, S., Masias, A., Crustal structure and tectonics of the central Perú continental margin and trench. Geological Society of America, Memoir 154, 445-508. 1981
6. Thornburg, T., Kulm, L.D., Sedimentary basins of the Peru continental margin: structure, stratigraphy, and Cenozoic tectonics from 6°S to 16°S latitude. Geological Society of America, Memoir 154, 393-422, 1981.
7. Juan Chung Ching , Geological and geophysical study of Peru's Andean foothills and adjacent basins-master's thesis, 1999.
8. Darwin Romero, La cuenca cretácico Superior-Paleoceno del Perú central: Un metalotecto para la exploración de SMV, Un ejemplo Mina María Teresa -Tesis de Maestría 2007.
9. Diego Timoteo, Distribución de las secuencias cretácicas en el offshore del Perú centro-Norte, Entre Lima y Chiclayo -Congreso Peruano de Geología, 2010.
10. Diego Venturo, Evidencias Sismo –Geológicas e influencia Volcánica Mesozoica en el sistema petrolero de la cuenca Salaverry ,2009.
11. Rocio Campos Egea, Estudio Geológico y gravimétrico de los granitoides de la antiforra de Cáceres: Aplicación a la exploración de yacimientos minerales, -Tesis Doctoral 1998.
12. Darwin Romero Et al, The offshore basement of Perú: Evidence for different igneous and metamorphic domains in the forearc, Journal of South American Earth Sciences 42, 47-60. 2013.
13. Carlos Llerena et al, Potenciales reservorios naturalmente fracturados en la cuenca salaverry, relacionados con el magmatismo hauteriviano-barremiano (formación pucosana). Nuevas dataciones U-Pb y Ar-Ar. XVI Congreso de Geología ,2012.
14. Witt, C.A., Alarcón, P., Valencia, K., Lajo, A., Fuentes, J., Romero, D. Segmentación tectono-estratigráfica y superposición de cuencas de antearco cenozoicas en la margen andina entre 6°S y 2°S (Norte Perú e Sur Ecuador). 14° Congreso Latinoamericano de Geología, Memorias, Medellín, pp. 248-249, 2011.
15. Ramos, V.A., The basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes. Annual Review on Earth and Planetary Sciences 36, 289-324.2008.





16. Ramos, V.A., Anatomy and global context of the Andes: main geologic features and the Andean orogenic cycle. In: Kay, S.M., Ramos, V.A., Dickinson, W. (Eds.), *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*, Memoir 204. Geological Society of America, pp. 31-65.2009.
17. Ramos, V.A., The tectonic regime along the Andes: present settings as a key for the Mesozoic regimes. *Geological Journal* 45, 2-25. 2010a
18. Polliand, M., Schaltegger, U., Frank, M., Fontboté, L., Formation of intra-arc volcano sedimentary basins in the western flank of the central Peruvian Andes during Late Cretaceous oblique subduction; field evidence and constraints from UePb ages and Hf isotopes. *International Journal of Earth Sciences* 94, 231-242. 2005.
19. Romero, D., Informe del procesamiento digital de imágenes y cartografía digital de área del litoral peruano entre las ciudades de Chiclayo y Paracas. Savia Perú S.A., Unpublished report, 38 p., Lima.2010.
20. Cobbing, E.J., The coastal batholith and other aspects of Andean magmatism in Peru. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú* 88, 5-20.1998.
21. Cobbing, E.J., Pitcher, W.S., The coastal batholith of central Peru. *Journal Geological Society London* 128, 421-460.1972
22. Ahmed Salem, Simon Williams, Derek Fairhead, Richard Smith, and Dhananjay Ravat (2008). "Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives." *GEOPHYSICS*, 73(1), L1-L10.doi: 10.1190/1.2799992



---

## **ANEXO 1**

### **Enclosure 23- Lobos and Morsa Norte Composite Logs**





## **ANEXO 2**

### **Enclosure 24- Delfin, Ballena and Pisco Composite Logs**